

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"
Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

До захисту допущено
В.о. завідувача кафедри
_____ Володимир ЄРЕМЕНКО
«_____» _____ 2020 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-вимірювальні системи
та технології екологічного моніторингу»
спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
на тему: «Аналізатор кисню у димових газах котлоагрегатів»

Виконав:
студент IV курсу, групи ПН-361
Крупка Денис Максимович _____

Керівник:
Доцент, к.т.н,
Маркіна Ольга Миколаївна _____

Рецензент:
Асистент
Сапегін Олександр Миколайович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2020 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-вимірювальні системи та технології екологічного моніторингу»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«_____» _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Крупке Денису Максимовичу

1. **Тема проекту** «Аналізатор кисню у димових газах котлоагрегатів»,
керівник проекту Маркіна Ольга Миколаївна, к.т.н., доцент.
затверджені наказом по Університету від "___" _____ 2020 р. №____.
2. **Строк подання студентом проекту** "18" травня 2020 р.
3. **Вихідні дані до проекту:**
 - 3.1. Об'єкт проектування – аналізатор кисню.
 - 3.2. Умови експлуатації:
 - температура навколишнього середовища 273 К - 323 К (0°C - 50°C);
 - атмосферний тиск від 84 до 106 кПа;
 - відносна вологість повітря від 30 до 80 % при температурі 298 К;
 - в процесі градування не повинно бути вібрації, тряски та ударів;
 - габарити і маса – мінімальні.
 - 3.3. Характеристики системи:
 - вимірювальний газ – кисень;
 - діапазон вимірювання концентрації кисню – від 0 до 5 %;
 - основна зведена похибка вимірювання $\pm 3\%$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ.

- 4.2. Характеристика об'єкту аналізу (кисень).
 - 4.3. Огляд і аналіз методів і засобів вимірювання концентрації кисню.
 - 4.4. Обґрунтування і розробка обраного конструкторського рішення.
 - 4.5. Вибір вимірювальних перетворювачів.
 - 4.6. Будова та принцип дії аналізатору.
 - 4.7. Особливості будови блоку обробки інформації.
 - 4.8. Метрологічне забезпечення приладу.
 - 4.9. Розрахунок похибок газоаналізатора
 - 4.10. Висновки.
 - 4.11. Вибрати та розробити елементи та вузли і виконати креслення
- Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

- 5.1. Структурна схема аналізатору кисню та загальний вигляд аналізатору (1 арк. А1);
- 5.2. Складальне креслення вузлів (1 арк. А1);
- 5.3. Деталювання вузлів (2 арк. А1).

6. Дата видачі завдання "01" березня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Характеристика об'єкту аналізу	03.03.20	
2	Аналітичний огляд методів вимірювання концентрації кисню у димовій суміші	10.03.20	
3	Аналітичний огляд приладів-аналогів вимірювання концентрації оксидів кисню.	20.03.20	
4	Обґрунтування і розробка структурної схеми первинного вимірювального перетворювача	10.04.20	
5	Опис і обґрунтування конструкції первинного вимірювального перетворювача.	20.04.20	
7	Вибір і розрахунок основних елементів первинного вимірювального перетворювача	10.05.20	
8	Розрахунок похибок газоаналізатора	05.05.20	
9	Визначення і аналіз функції перетворення газоаналізатора	05.05.20	
10	Виконати креслення до дипломного проекту	05.05.20	
11	Підготувати пояснювальну записку до дипломного проекту	20.05.20	

Студент _____ /Денис КРУПКА/

Керівник проекту _____ /Ольга МАРКІНА/

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕРС – електрорушійна сила

АГС – аналізована газова суміш

ПВП – первинний вимірювальний перетворювач

ПП – проміжний перетворювач

ЧЕ – чутливий елемент

ТП – термоелектричний перетворювач

БЖ – блок живлення

ЦСІ – цифровий світлодіодний індикатор

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект на тему «Аналізатор кисню у димових газах котлоагрегатів» містить 70 сторінок, 15 джерел у переліку посилань, 8 таблиць, додатків 7, креслення деталей та вузлів- 4 формати А1.

Актуальність обраної теми є надзвичайно високою, адже контроль процесів горіння в різних печах, котлах і технологічних апаратах необхідно контролювати, а у вітчизняному побуті та виробництві їх кількість має тенденцію до збільшення. В процесі горіння необхідно підтримувати точне співвідношення між кількостями повітря і палива, що поступають відповідно до стехіометричного рівняння реакції горіння. При старінні устаткування змішування виконується недостатньо точно, з часом змінюються теплотворна здатність палива, швидкість процесу горіння і зовнішні умови. Будь-який з цих чинників впливає на кількість повітря, необхідну для безпечного і ефективного згорання палива, а у висновку впливає на економічне використання палива.

В дипломному проекті на тему проведено розробку та конструювання аналізатора кисню з широким набором функцій. Хочемо зазначити, що спроектований прилад відзначається рядом переваг: невелика вартість в порівнянні з аналогами, знижена похибка вимірювання за рахунок використання нової термопари для стабілізації температурних коливань, високими ергономічними показниками, можливістю впровадження приладу в технологічний процес.

У проекті проведено розрахунок похибок газоаналізатора від впливу температури і впливу супутніх газів SO_2 , CO ; розрахунок потужності споживання аналізатора. Розроблено конструкцію первинного вимірювального перетворювача газоаналізатора.

Спроектований у дипломі аналізатор кисню при застосуванні систем автоматичного керування для контролю подачі кисню при горінні палива та обрахування й застосування оптимального показника для повного згорання палива, що в свою чергу користувачу дасть економічний ефект щодо кількості палива. Для налаштування роботи у режимі оптимізації конструкції аналізатору

використовуємо аналогові сигнали (0 – 5) мА або (4 – 20) мА, та інтерфейс RS 232. Корекція по кисню дала ефект економії витрат палива до 7 %, а також зменшила токсичні викиди в навколишнє середовище та підвищила ефективність горіння палива.

В нашому проєкті вимірювання кисню виявилось недостатнім кроком для оптимізації співвідношення паливо/повітря. Для збільшення ефективності горіння палива у котлових агрегатах необхідно вимірювати концентрацію вмісту монооксиду вуглецю, що виникає у наслідок горіння. Тому, тільки одночасно вимірюючи вміст кисню та монооксиду вуглецю, можливо досягти найвищої ефективності процесу горіння при робочих умовах. Такі фізико-хімічні властивості цих двох сполук ми врахували при розробці аналізатору кисню в газових котлоагрегатах.

Хочемо зазначити, що вимірювання вмісту монооксиду вуглецю в димових газах частіше за всього проводиться з застосуванням закордонних оптичних аналізаторів. Звідси виникає актуальність розробки українського недорогого і простого в застосуванні стаціонарного аналізатору на вимірювання концентрації чадного газу є актуальною задачею вітчизняного аналітичного приладобудування, що потребує вирішення. Аналітичне дослідження методів вимірювання оксиду вуглецю (електрохімічний, напівпровідниковий та інші) показує, що на основі цих методів з різних причин неможливо розробити стаціонарний аналізатор на СО в димових газах з відповідними технічними вимогами. Для вирішення цієї задачі, на мою думку, найбільш придатний метод низькотемпературного термokatалізу.

При проектуванні аналізатору кисню в котлових агрегатах запропоновано оригінальне технічне рішення для стабілізації робочої температури.

ANNOTATION

The diploma project on "Oxygen analyzer in flue gases of boilers" contains 70 pages, 15 sources in the list of references, 8 tables, appendices 7, drawings of parts and units - 4 A1 formats.

The urgency of the chosen topic is extremely high, since the control of combustion processes in different furnaces, boilers and technological devices must be controlled, and in the domestic life and production, their number tends to increase. In the combustion process, it is necessary to maintain the exact ratio between the quantities of air and fuel supplied in accordance with the stoichiometric equation of the combustion reaction. Aging of mixing equipment is not performed sufficiently accurately, over time, the calorific value of the fuel, the speed of the combustion process and the external conditions change. Either of these factors affects the amount of air required to safely and efficiently burn the fuel and, in conclusion, affects the fuel economy.

The diploma project on the topic of development and design of oxygen analyzer with a wide range of functions. It should be noted that the designed device has several advantages: low cost compared to analogues, reduced measurement error due to the use of a new thermocouple to stabilize temperature fluctuations, high ergonomic parameters, the possibility of introduction of the device in the technological process.

The project calculates the errors of the gas analyzer from the influence of temperature and the influence of associated gases SO₂, CO; analyzer power consumption calculation. The design of the primary measuring converter of the gas analyzer is developed.

The diploma engineer designed in the diploma when using automatic control systems to control the oxygen supply during combustion of fuel and calculate and use the optimum indicator for complete combustion of fuel, which in turn will give the user an economic effect on the amount of fuel. Analog signals (0 - 5) mA or (4 - 20) mA, and RS 232 interface are used to adjust the analyzer design optimization mode. The oxygen correction gave a fuel economy effect of up to 7% and also reduced toxic

emissions to the environment and increased fuel efficiency.

In our project, oxygen measurement was not a sufficient step to optimize the fuel / air ratio. To increase the efficiency of combustion of fuel in boiler units, it is necessary to measure the concentration of carbon monoxide content resulting from combustion. Therefore, by measuring oxygen and carbon monoxide content simultaneously, it is possible to achieve the highest efficiency of the combustion process under operating conditions. We have taken into account the physicochemical properties of these two compounds when designing an oxygen analyzer in gas boilers.

We want to note that the measurement of carbon monoxide content in flue gases is most often done with the use of foreign optical analyzers. Hence the urgency of developing a Ukrainian inexpensive and easy-to-use stationary analyzer for measuring carbon monoxide concentration is an urgent task of the domestic analytical instrument that needs to be addressed. An analytical study of methods for measuring carbon monoxide (electrochemical, semiconductor, etc.) shows that, based on these methods, it is not possible to develop a stationary CO analyzer in flue gases with various technical requirements for various reasons. To solve this problem, in my opinion, the most suitable method of low-temperature thermocatalysis.

The original technical solution to stabilize the operating temperature of the vehicle was implemented.

PODSUMOWANIE

Projekt dyplomowy „Analizator tlenu w spalinach z kotłów” zawiera 70 stron, 15 źródeł na liście referencji, 8 tabel, załączniki 7, rysunki części i jednostek - 4 formaty A1.

Pilność wybranego tematu jest niezwykle wysoka, ponieważ kontrola procesów spalania w różnych piecach, kotłach i urządzeniach technologicznych musi być kontrolowana, a w życiu domowym i produkcji ich liczba zwykle rośnie. W procesie spalania konieczne jest utrzymanie dokładnego stosunku ilości dostarczanego powietrza i paliwa zgodnie ze równaniem stechiometrycznym reakcji spalania. Starzenie urządzeń do mieszania nie jest przeprowadzane wystarczająco dokładnie, z czasem zmienia się wartość opałowa paliwa, prędkość procesu spalania i warunki zewnętrzne. Każdy z tych czynników wpływa na ilość powietrza wymaganą do bezpiecznego i skutecznego spalania paliwa, a na koniec wpływa na zużycie paliwa.

Projekt dyplomowy na temat rozwoju i projektowania analizatora tlenu o szerokim zakresie funkcji. Należy zauważyć, że zaprojektowane urządzenie ma kilka zalet: niski koszt w porównaniu do analogów, mniejszy błąd pomiaru dzięki zastosowaniu nowej termopary w celu ustabilizowania wahań temperatury, wysokie parametry ergonomiczne, możliwość wprowadzenia urządzenia w proces technologiczny.

Projekt oblicza błędy analizatora gazu na podstawie wpływu temperatury i wpływu powiązanych gazów SO_2 , CO ; obliczanie zużycia energii przez analizator. Opracowano projekt pierwotnego konwertera pomiarowego analizatora gazu.

Inżynier dyplomowy zaprojektowany w dyplomie przy użyciu automatycznych systemów kontroli do kontroli dopływu tlenu podczas spalania paliwa oraz obliczenia i wykorzystania optymalnego wskaźnika całkowitego spalania paliwa, co z kolei da użytkownikowi ekonomiczny wpływ na ilość paliwa. Sygnały analogowe (0–5) mA lub (4–20) mA oraz interfejs RS 232 służą do regulacji trybu optymalizacji projektu analizatora. Korekcja tlenu dała efekt oszczędności paliwa do 7%, a także zmniejszyła emisje toksyczne do środowiska i zwiększone zużycie paliwa.

W naszym projekcie pomiar tlenu nie był wystarczającym krokiem do optymalizacji stosunku paliwo / powietrze. Aby zwiększyć efektywność spalania paliwa w jednostkach kotłowych, należy zmierzyć stężenie zawartości tlenu węgla powstającego w wyniku spalania. Dlatego poprzez jednoczesny pomiar zawartości tlenu i tlenu węgla możliwe jest osiągnięcie najwyższej wydajności procesu spalania w warunkach roboczych. Podczas projektowania analizatora tlenu w kotłach gazowych uwzględniliśmy właściwości fizykochemiczne tych dwóch związków.

Chcemy zauważyć, że pomiar zawartości tlenu węgla w spalinach jest najczęściej wykonywany za pomocą zagranicznych analizatorów optycznych. Dlatego pilna potrzeba opracowania ukraińskiego niedrogiego i łatwego w użyciu stacjonarnego analizatora do pomiaru stężenia tlenu węgla jest pilnym zadaniem krajowego instrumentu analitycznego, którym należy się zająć. Analiza analityczna metod pomiaru tlenu węgla (elektrochemiczna, półprzewodnikowa itp.) Pokazuje, że w oparciu o te metody nie jest możliwe opracowanie stacjonarnego analizatora CO w spalinach o różnych wymaganiach technicznych z różnych powodów. Aby rozwiązać ten problem, moim zdaniem, najbardziej odpowiednią metodą niskotemperaturowej termokatalizy.

Wdrożono oryginalne rozwiązanie techniczne stabilizujące temperaturę roboczą pojazdu.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
АНОТАЦІЯ	6
ЗМІСТ	12
ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ ТА АНАЛІТИЧНИЙ ..	19
1. Аналіз існуючих газоаналізаторів виміру кисню	20
1.1 Аналізатор кисню в димових газах O2-МАДГ-2.....	20
1.1.1 Призначення O2-МАДГ-2.....	20
1.1.5 Умови експлуатації O2-МАДГ-2	21
1.2 Аналізатор кисню в димових газах O2-АГД-1	22
1.2.1 Призначення O2-АГД-1	22
1.2.2 Область застосування O2-АГД-1	23
1.2.3 Принцип дії аналізатору O2-АГД-1.....	23
1.2.4 Умови експлуатації O2-АГД-1.....	23
1.2.5 Економічний ефект O2-АГД-1	23
1.2.6 Технічні характеристики O2-АГД-1.....	23
1.3 Коректор-аналізатор якості спалювання палива КАКГ-1.....	24
1.3.1 Призначення КАКГ-1.....	25
1.3.2 Область застосування КАКГ-1	25
1.3.3 Принцип дії КАКГ-1	25
1.3.4 Основні технічні характеристики КАКГ-1	25
1.3.5 Умови експлуатації КАКГ-1	27
1.3.6 Економічний ефект КАКГ-1	27
1.4 Газоаналізатор ОхуTrak 411	27
1.4.1 Призначення ОхуTrak 411	27

1.4.2 Принцип дії OxyTrak 411	28
1.4.3 Основні технічні характеристики OxyTrak 411	29
1.5 Аналізатор кисню в димових газах ТДК-3М.....	32
1.5.1 Призначення ТДК-3М.....	32
1.5.2 Переваги ТДК-3М	32
1.5.3 Основні технічні характеристики ТДК-3М	32
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОВОГО МЕТОДУ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ	34
2.1. Методи контролю кисню в газових сумішах	34
2.2 Електрохімічні методи аналізу	35
2.3 Кондуктометричний метод.....	37
2.4 Термокондуктометричний метод	39
2.5 Вибір та обґрунтування обраного методу	39
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКЦІЯ АНАЛІЗАТОРА ТА ПРИНЦИП ДІЇ	42
3.1 Конструкція аналізатора.....	42
3.1.1 Проміжний перетворювач	42
3.1.2 Блок живлення	43
3.2 Опис роботи аналізатора	43
РОЗДІЛ 4 ВИЗНАЧЕННЯ І АНАЛІЗ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГАЗОАНАЛІЗАТОРА.....	45
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ГАЗОАНАЛІЗАТОРА.....	46
5.1 Абсолютна похибка.....	46
5.2 Відносна похибка	47
5.3 Основна приведена похибка аналізатору	48
РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ПЕРВИННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ БЛОКУ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ	50

РОЗДІЛ 7 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАННЯ АНАЛІЗАТОРА .	56
РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПЕРВИННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА АНАЛІЗАТОРА	56
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	60
ДОДАТКИ.....	62

ВСТУП

Актуальність контролю процесів горіння в різних печах, котлах і технологічних апаратах не викликає сумніву. В процесі горіння необхідно підтримувати точне співвідношення між кількостями повітря і палива, що поступають відповідно до стехіометричного рівняння реакції горіння. При старінні устаткування змішування виконується недостатньо точно, з часом змінюються теплотворна здатність палива, швидкість процесу горіння і зовнішні умови. Будь-який з цих чинників впливає на кількість повітря, необхідну для безпечного і ефективного згорання палива.

Занадто велика кількість повітря призводить до недопалу і незгоріле паливо викидається в димохід, знижуючи економічність процесу і підвищуючи потенційну небезпеку вибуху. Крім того, при неповному згоранні палива зростає забруднення атмосфери. При великому надлишку повітря збільшується зміст оксидів SO_2 і NO_x . Підтримка точного співвідношення «повітря/паливо» в будь-яких процесах горіння зводить до мінімуму викиди в атмосферу забруднюючих речовин.

Для коректного визначення концентрації O_2 датчики таких приладів повинні розташовуватися як можна ближче до зони горіння і, безумовно, перед теплообмінниками, щоб звести до мінімуму негативний вплив витоків повітря на показники надлишку O_2 . Аналізатори O_2 працюють в димових газах в ділянці високих температур і рівнів забруднення, тому їх конструкції мають бути стійкі до закупорювання твердими частками, які можуть викликати передчасні відмови датчиків. Як правило, відомі аналізатори O_2 надовго виходять з ладу, а їх регламентне обслуговування віднімає багато сил і часу. Конструкція багатьох традиційних аналізаторів O_2 в димових газах опиняється ненадійною і невідповідною тяжким умовам безперервної експлуатації цих приладів.

Неоптимальне, а можна сказати, що неефективне, застосування при опаленні палива одна з причин забруднення атмосферного повітря, водою та річок. Оскільки, при неповному згоранні твердого палива, викиди

збільшуються за рахунок незгорілих частинок. А при повному згоранні твердого палива, викиди у вигляді того ж пилу мінімальні.

Як відомо з науково-технічної літератури, витрати тепла визначаються параметрами димових газів. До яких відносять температуру згорання, коефіцієнт витрати повітря під час згорання палива. У випадку неповного згорання палива, не може повністю пройти хімічна реакція згорання з оксидом вуглецю, водню та вуглеводів. Відомо, що найкращий показник згорання палива у котлах має коефіцієнт витрати повітря під час згорання палива рівним одиниці [1]. Контроль коефіцієнту витрати повітря при мінімальній концентрації оксиду вуглецю, відбувається за рахунок вимірювання концентрації кисню в димових газах.

Тому хочемо зазначити, що для того щоб відбувався оптимальний процес горіння, необхідно повсякчас контролювати концентрацію кисню в димових газах котлових агрегатів.

Контролювати процес горіння палива за допомогою таких дій:

- візуально за такими характеристиками факела, як його довжина, колір, світність і інше. Для володіння цим суб'єктивним методом оцінки необхідний великий професійний досвід машиніста котлів;
- за складом продуктів горіння, виробленому за допомогою газоаналізаторів.

При аналізі складу продуктів горіння слід перш за все звернути увагу на вміст оксиду вуглецю CO. Відсутність CO в даних аналізу свідчить про повному згорянні палива і відсутності втрат теплоти від хімічної неповноти згорання. При наявності CO в продуктах згорання необхідно збільшити подачу повітря з тим, щоб у відповідності з виробничою інструкцією або режимної карти мінімізувати або виключити його вміст у продуктах горіння.

Відсутність CO з числа горючих газів в продуктах згорання зовсім не свідчить про якісне спалюванні палива. Крім CO необхідно контролювати вміст кисню і трьохатомних газів RO_2 в сухих продуктах горіння. За допомогою даних про зміст цих компонентів можна встановити найважливішу величину, що характеризує якість спалювання палива, - коефіцієнт надлишку повітря.

Найбільш точно цей коефіцієнт визначається по «азотної формулою», яка для випадку повного спалювання палива має вигляд:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 0,76 \cdot O_2}$$

де N_2 , O_2 – вміст N_2 , O_2 в сухих продуктах горіння, об. %/

$$N_2 = 100 - (RO_2 + O_2)$$

Як відомо з науково-технічної літератури та довідників з контролю процесів горіння палива, та з устаткування для їх контролю співвідношення вмісту азоту і кисню повітря дорівнює 3,76.

При неповному згорянні палива «азотна» формула набуває вигляду:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 0,76 \cdot (O_2 - 2CH_4 - 0,5CO - 0,5H_2)}$$

де CH_4 , CO і H_2 – вміст у продуктах горіння відповідно метану, монооксиду вуглецю і водню, об.%; 3,76 - співвідношення вмісту азоту і кисню повітря; 2 і 0,5 – стехіометричні коефіцієнти реакцій горіння.

Для приблизної оцінки значення α при відсутності в димових газах горючих компонентів користуються «углекислотной» формулою[^]

$$\alpha = \frac{RO_2^{\max}}{RO_2},$$

де RO_{\max} – максимально можливий зміст трьохатомних газів в сухих продуктах горіння, об. %:

$$RO_2^{\max} = \left(\frac{RO_2}{100 - 4,76O_2} \right) \cdot 100$$

Як відомо з науково-технічної літератури та довідників з контролю процесів горіння палива, та з устаткування для їх контролю коефіцієнт перерахунку вмісту кисню в повітрі дорівнює 4,76.

Зразкове значення коефіцієнта надлишку повітря можна визначити також по «кисневої» формулою. У разі повного згоряння палива коефіцієнт визначаємо за формулою:

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2},$$

де O_2 – вміст кисню в продуктах горіння. об.%.

Незважаючи на те, що у світі досить значні запаси органічного палива, витрата їх в даний час настільки велике, що навіть при сучасному рівні використання будь-якого з палив проглядається перспектива їх виснаження в доступному для огляду майбутньому. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають інноваційні енергетичні технології, що забезпечують екологічно чисте виробництво і економію енергетичних ресурсів, їх збалансоване споживання.

РОЗДІЛ 1 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ ТА АНАЛІТИЧНИЙ

Енергетичне паливо – це горючі речовини, які економічно доцільно використовувати для отримання теплової та електричної енергії. Всі палива можуть бути розділені на природні та штучні. До природних відносяться органічні [1] палива, безпосередньо видобуваються з надр землі. Це – вугілля, торф, сланці, нафта, природний газ. Штучні палива виходять в результаті переробки природних палив на газових, нафтопереробних, металургійних підприємствах. Штучними паливами є кокс, напівкокс, доменний, коксовий, генераторний газ, газ піролізу нафти, мазут. У дипломному проекті стоїть завдання розробити аналізатор кисню для котлових агрегатів. Тому розглянемо всі види палива, що використовуються для побутових та промислових котлів.

Природні органічні палива є невідновлюваними енергетичними ресурсами, невогнебезпечні і поновлюваних тільки в справжню геологічну епоху. Відмінною особливістю невідновлюваних джерел енергії (вугілля, нафти, газу) є їх високий енергетичний потенціал і відносна доступність і, як наслідок, доцільність вилучення.

Найбільші енергетичні ресурси органічного палива зосереджені у вугіллі. Загальні прогнозовані геологічні запаси кам'яного та бурого вугілля становить 6000 ... 15 000 млрд т умовного палива (т у. п.). Геологічних ресурсів нафти в світі в 20 - 30 разів менше, ніж вугілля, вони становлять 286 ... 515 млрд т у. п. Ресурс природного газу на Землі оцінюється в 177 ... 314 млрд т у. п.

Незважаючи на те, що у світі досить значні запаси органічного палива, витрата їх в даний час настільки велика, що навіть при сучасному рівні використання будь-якого з палив проглядається перспектива їх виснаження в доступному для огляду майбутньому. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають інноваційні енергетичні технології, що забезпечують екологічно чисте виробництво і економію енергетичних ресурсів, їх збалансоване споживання. Тому проведемо аналітичний огляд існуючих аналізаторів вітчизняного та закордонного виробництва.

1. Аналіз існуючих газоаналізаторів виміру кисню

Проведемо огляд аналогів на ринку вітчизняних та закордонних газоаналізаторів.

1.1 Аналізатор кисню в димових газах O2-МАДГ-2



Рисунок 1 – Аналізатор кисню в димових газах O2-МАДГ-2

1.1.1 Призначення O2-МАДГ-2

Аналізатор кисню в димових газах O2-МАДГ-2 (рис.1) з твердоелектролітним чутливим елементом з діоксиду цирконію призначений для безперервного виміру концентрації вільного кисню в димових газах, температури димових газів і розрахунку ККД горіння з метою технологічного і екологічного контролю. Найбільш доцільне його використання в системах автоматичного контролю і регулювання процесів спалювання палива в котельних установках і промислових печах великої потужності, що працюють на різних видах палива, : газоподібному, рідкому або твердому.

1.1.2 Область застосування O2-МАДГ-2

Теплоенергетика, металургія, нафтохімія, виробництво будівельних матеріалів, комунально-побутовий сектор і інші галузі, де використовуються котлоагрегати.

1.1.3 Принцип дії аналізатору O2-МАДГ-2

Вимір ЕДС при дифузії іонів кисню в твердоелектролітній електрохімічній чарункі з діоксиду цирконію.

1.1.4 Основні технічні характеристики O2-МАДГ-2

Границі виміру концентрації кисню, об.%	0,1-23
Діапазон виміру по аналоговому виходу, об.%	0,1-5 / 0,1-10 / 0,1-1
Похибка виміру, %	+/- 2,0
Час реагування, сек	30
Аналоговий вихід (при опорі навантаження не більше 200 Ом), мА	4-20 (0-20) або 0-5
Інтерфейс зв'язку з ЕОМ	RS-485
Напруга живлення (змінний струм), В	36
Потужність що споживається, ВА	100
Режим роботи	безперервний
Температура довкілля у блоку газоаналізатору, °С	-30...+50
Характеристика аналізованого газу: - температура, °С - пиловміст, міліграм/м ³	до +600 до 10,0
Габарити приладу, мм: - загальна довжина - глибина занурення	520 260
Маса, кг	не більше 4,3
Термін служби, рік	10

1.1.5 Умови експлуатації O2-МАДГ-2

Аналізатор простий і надійний в експлуатації і ремонті, не потребує спеціальної підготовки персоналу, не потребує системи відбору проби та системи підготовки проби. Встановлюється як на газоході, так і на шунтовій трубі. У приладі передбачені автоматична діагностика основних вузлів,

автоматичне і ручне калібрування. Для діагностики стану і управління режимами роботи використовується переносний пульт управління аналізатором.

1.1.6 Економічний ефект O₂-МАДГ-2

Економічний ефект застосування аналізатора димових газів O₂-МАДГ-2 обумовлений економією від 3% до 5% палива за рахунок ефективного контролю присосів по газовому тракту котла. Термін окупності приладу по цьому показнику 6-12 місяців. Вартість – 15 тис грн. Виробник – ЗАТ Науково-виробнича Фірма «УРАН-СПб» [14]

1.2 Аналізатор кисню в димових газах O₂-АГД-1

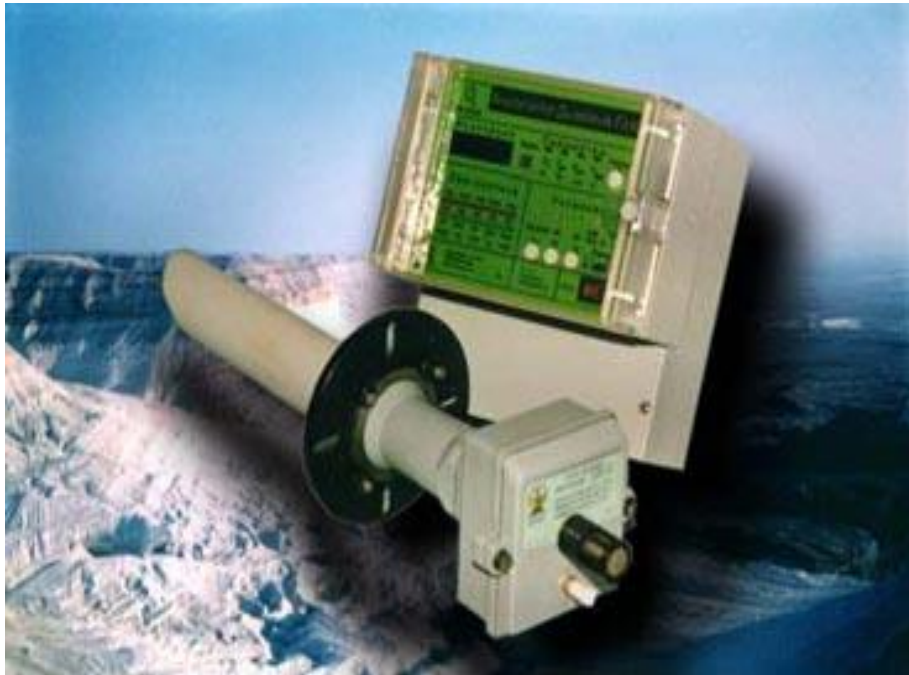


Рисунок 2 – Аналізатор кисню в димових газах O₂-АГД-1

1.2.1 Призначення O₂-АГД-1

O₂-АГД-1 – сучасний автоматичний газоаналізатор, призначений для безперервного виміру концентрації вільного кисню в газовому середовищі з метою технологічного і екологічного контролю(рис.2).

Найбільш доцільне його використання в системах автоматичного контролю і регулювання процесів спалювання палива.

1.2.2 Область застосування O2-АГД-1

Теплоенергетика, металургія, нафтохімія, виробництво будівельних матеріалів, комунально-побутовий сектор і інші галузі, де використовуються котлоагрегати, що працюють на різних видах палива.

1.2.3 Принцип дії аналізатору O2-АГД-1

Вимір ЕДС при дифузії іонів кисню в твердоелектролітному сенсорі з діоксиду цирконію. Конструктивно газоаналізатор складається з двох блоків:

- датчика;
- вимірювального блоку з цифровою індикацією.

1.2.4 Умови експлуатації O2-АГД-1

Аналізатор простий і надійний в експлуатації і ремонті, не вимагає спеціальної підготовки персоналу, не потребує пробовідбору і пробопідготовки.

Датчик може бути встановлений як на газоході, так і на шунтовій трубі. У приладі передбачені автоматична діагностика основних вузлів і напівавтоматичне калібрування вимірювального каналу.

1.2.5 Економічний ефект O2-АГД-1

Економічний ефект застосування аналізатора димових газів O2-АДГ- 1 обумовлений економією 3-5% палива за рахунок ефективного контролю присосів по газовому тракту котла.

1.2.6 Технічні характеристики O2-АГД-1

Границі виміру концентрації кисню, об %		0,1 - 10 (0,1 - 21)
Похибка вимірювань, %		+/- 2,0
Час реагування, сек		30
Вихідний сигнал на зовнішній вторинний прилад	постійного струму, мА	0 - 5
	постійної напруги, В	0 - 10
Напруга живлення (змінний струм), В		36
Потужність, що споживається, ВА		60

Режим роботи		безперервний
Термін служби, років		8
Температура зовнішнього середовища	у блоку датчика, °С	0...+50
	у вимірювального блоку, °С	до +750
Характеристика аналізованого газу	витрата, л/годину	15
	пиловміст, міліграм/м ³	до 10,0
Габарити приладу, мм	датчика	120 x 120 x 350
	вимірювального блоку	200 x 250 x 180
Довжина погрузної частини датчика, мм		350
Маса приладу, кг	датчика	не більше 1,5
	вимірювального блоку	не більше 1,6

Вартість – 10 тис грн. Виробник – Виробничо-комерційна група «ГРАНАТ»[15]

1.3 Коректор-аналізатор якості спалювання палива КАКТ-1.



Рисунок 3 – Коректор-аналізатор КАКТ-1

Коректор-аналізатор якості горіння КАКГ-1 (рис.3) призначений для безперервного виміру твердоелектролітним датчиком концентрації вільного кисню, температури димових газів і потоку повітря, теплового навантаження; розрахунку ККД горіння і автоматичного корегування співвідношення «паливо-повітря» з метою економії палива і зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу.

1.3.1 Призначення КАКГ-1

Найбільш доцільне його використання в системах автоматичного контролю і оптимального регулювання процесів спалювання палива в котлоагрегатах і промислових печах малої потужності, що працюють на різних видах палива, : газоподібному, рідкому або твердому.

1.3.2 Область застосування КАКГ-1

Теплоенергетика, металургія, нафтохімія, виробництво будівельних матеріалів, комунально-побутовий сектор і інші галузі, де використовуються паливоспалювальні агрегати.

1.3.3 Принцип дії КАКГ-1

Контроль і зниження втрат при спалюванні палива по вимірній концентрації кисню, температурі димових газів з урахуванням теплового навантаження.

1.3.4 Основні технічні характеристики КАКГ-1

Границі виміру вмісту вільного кисню по індикації, об %	0,1...25
Діапазон виміру по аналоговому виходу, об. %	0...25
Діапазон виміру температури димових газів, °С	0...999
Діапазон виміру температури повітря на горіння, °С	-50...+180
Діапазон виміру витрати палива на горіння (чинник навантаження), %	0...150
Діапазон свідчень розрахункового ККД горіння (h), %	0...100

Діапазон корекції по кисню, %		0,5...18
Границі основної відносної похибки газоаналізатора, що припускається, по аналоговому виходу d, %		±2,0
Границі значення додаткової похибки виміру вмісту кисню, що допускається, обумовленої зміною температури навколишнього повітря в діапазоні - 10..+60°C на кожні 10°C, %		0,7
Границі похибки, що припускається, обумовленої варіацією показань вихідного сигналу		0,5d
Час встановлення робочого режиму (прогрівання), хв		до 10,0
Найменша ціна розряду цифрового індикатора, %		0.01
Часи встановлення вихідного сигналу, сек		30
Діапазон робочих температур чутливого елементу датчика кисню, °C		600...800
Вхідні сигнали (зовнішні) : (налаштовуються при конфігурації)	2 аналогових	4...20 або 0...5
	температура повітря для горіння (Тпов)	Vх.А2
	чинник навантаження (витрата, тиск	Vх.А1
Вихідні сигнали: (настроюються при конфігурації)	2 аналогових (при опорі навантаження не більше 200 Ом):	4...20 або 0...5
	вміст кисню (O ₂)	Вих.А1
	корекція (d)	Вих.А2
Інтерфейс зв'язку з ЕОМ		RS-485
Напруга живлення (постійна або змінна), В		24...36
Споживана потужність, ВА		не більш 15
Витрата калібрувального газу, л/ч		80...150
Маса газоаналізатора, кг		2,5
Габаритні розміри	загальна довжина	470...1690

газоаналізатора (виконання Б), мм:	газоаналізатора	
	довжина зонду	80...1300
	довжина зовнішньої частини	270
	діаметр фланця	100

1.3.5 Умови експлуатації КАКГ-1

Аналізатор простий і надійний в експлуатації і ремонті, не вимагає спеціальної підготовки персоналу, не потребує пробовідбору і пробопідготовки. Встановлюється як на газоході, так і на шунтовій трубі. Корекція може впливати як на швидкість вентилятора, так і на положення дросельної заслонки. У приладі передбачена автоматична діагностика основних вузлів, автоматичне і ручне калібрування. Для діагностики стану і управління режимами роботи використовується переносний пульт управління аналізатором.

1.3.6 Економічний ефект КАКГ-1

Економічний ефект від застосування коректора-аналізатора обумовлений економією 5..8 % палива, зниження на 20..35 % споживання електроенергії і зниження на 30..40 % викидів в атмосферу оксидів азоту за рахунок зменшення надлишків повітря при горінні. Термін окупності приладу по цьому показнику 6..8 місяців. Вартість – 17 тис грн. Виробник – Виробничо-комерційна група «ГРАНАТ» [16]

1.4 Газоаналізатор OxyTrak 411

1.4.1 Призначення OxyTrak 411

Сучасні стаціонарні газоаналізатори кисню OxyTrak 411 компанії GE Panametrics об'єднавши найсучасніші технології виміру з унікальним датчиком кисню, газоаналізатори OxyTrak 411 дозволяють уникнути стомливої процедури калібрування датчика і необхідність використання дорогих перевірочних газових сумішей (рис.4).

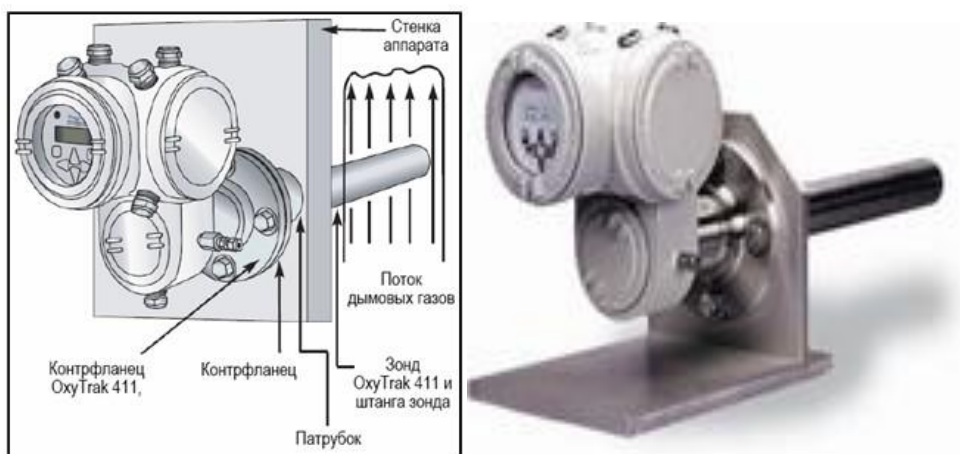


Рисунок 4 – Стационарний вимірювальний перетворювач кисню в димових газах OxyTrak 411

1.4.2 Принцип дії OxyTrak 411

У датчику OxyTrak 411 використовується запатентований чутливий елемент з оксиду цирконію з внутрішньою герметизованою зразковою камерою для точного визначення змісту O_2 в димових газах і для забезпечення швидкого відгуку датчика OxyTrak 411 на зміни в технологічному процесі. Ця нова унікальна конструкція чутливого елементу є такою, що він в автоматичному режимі самостійно калібрується, тобто відбувається процес самокалібровки. Внутрішнє електричне калібрування датчика виконується автоматично, виключаючи необхідність використання перевірочних газових сумішей.

При вимірах здійснюється відкачування O_2 з герметизованої зразкової камери датчика для установки точки відліку і наступного виміру електричного заряду в рівноважному стані - зміст іонів кисню в камері рівно парціальному тиску кисню в димових газах. Виміряна кількість електрики прямо пропорційна концентрації кисню.

Таким чином, внутрішня герметизована зразкова камера датчика виключає необхідність застосування еталонного газу. Ручний контроль калібрування може бути здійснений за допомогою відповідного штуцера приладу і однокрокової процедури, використовуючої тільки один газ. Це може бути повітря або який-небудь інший газ.

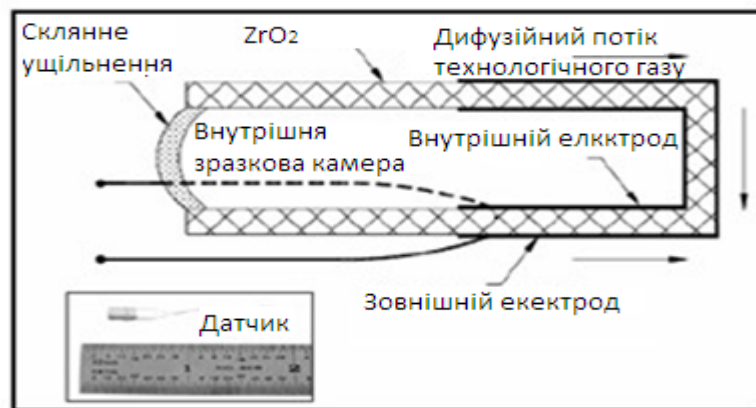


Рисунок 5 – Герметизована зразкова камера газоаналізатора OxyTrak 411

Газоаналізатор OxyTrak 411 має модульну конструкцію, яка забезпечує зручність обслуговування і ремонту. Окремий отвір забезпечує простий доступ до датчика. Прилад працює в діапазоні температур димових газів від 150 до 650 °C.

Абсолютна похибка газоаналізатора складає $\pm 0,1 \text{ \% O}_2$, діапазон виміру 0 - 25 % O_2 . По вибору користувача OxyTrak 411 забезпечує лінеаризований, ізольований вихід 0/4 - 20 мА (зв'язок з вторинним приладом по струмовій петлі) або 0 2 В, програмований в робочих умовах для будь-яких вимірів в межах від 0 до 25 % O_2 (наприклад, від 0 до 5 % O_2), або цифровий вихід RS485 або RS232, а також ИК-связь через захищену склом клавіатуру для зон класифікації Zone 1/Division 1. Крім того, OxyTrak 411 має вихід на сигналізацію з відмовостійким режимом роботи і функцію вбудованої діагностики. Прилад має вибухозахищене виконання 1ExdIICT6/T3 і допущений до застосування на піднаглядних виробництвах і об'єктах.

1.4.3 Основні технічні характеристики OxyTrak 411

Похибка	0,1 % O_2
Відтворюваність	0,05 % O_2
Вихідне розширення	0,01 % O_2
Стабільність	0,2 % O_2 /місяць
Діапазон вимірів	від 0 до 25 % O_2
Вплив температури зовнішнього середовища	0,02 % O_2 /°C

Вплив тиску технологічного процесу	<p>Менше 0,05 % O₂ на psi компенсації тиску;</p> <p>(psi - фунт на квадратний дюйм; 1 psi = 6,895 кПа)</p> <p>Робочий тиск: Від 450 до 1000 мм рт. ст.</p> <p>Вплив напруги живлення :</p> <p>Менше 0,05 % O₂</p>
Виходи на сигналізацію	<p>Одне відмовостійке реле</p> <p>Form C - сигналізація неполадок, два реле Form C звичайного виконання з призначенням виходу для сигналізації, два реле Form C - сигналізація автокалібрування</p>
Аналоговий вихід	<p>Лінеаризований, ізолюваний, 0/4/20 мА або 0/2 В, вибирається користувачем, програмується в робочих умовах для будь-якого діапазону виміру в межах від 0 до 25 % O₂ (наприклад, від 0 до 5 % O₂)</p>
Цифровий вихід	<p>RS485 або RS232, вибирається користувачем</p> <p>Навантаження виходу : 600 Ом при виході 20 мА</p>
Живлення	<p>100, 115, 230 або 240 В змінного струму</p>
Температура зовнішнього середовища	<p>Від /20 до +60 °C</p>

Температура датчика	Автоматичний нагрів і регулювання до +750 °C
Температура димових газів	від +150 до +650 °C
Контроль калібрування	Витрата газу для калібрування (додатково) 100 ±10 см³/хв
Тип датчика	герметичний датчик з оксиду цирконію з внутрішнім еталоном
Матеріали, що контактують з вимірюваним середовищем	Нержавіюча сталь марки 316, кераміка
Довжина зонда	Стандартна: 0,5 м; Додатково: 1 м або 1,5 м
Розміри електронного блоку	229 x 254 x 229 мм (ширина x висота x глибина) Загальна довжина: 787 мм (зонд завдовжки 0,5 м) Загальна маса: 14 кг (зонд завдовжки 0,5 м) Монтаж: Стандартний: 2 1/2 дюйми MNPT; Додатково: 2 1/2, 3 або 4 дюйми фланцевий
Виконання корпусу :	NEMA 4X IP66
Сертифікація для небезпечних зон	Вибухозахищена конструкція: для зон Class I, Div 1, Groups C&D NEMA Type 4X іскробезпечна конструкція:

Виробник - GE Panametrics [17]

1.5 Аналізатор кисню в димових газах ТДК-3М

1.5.1 Призначення ТДК-3М

Твердоелектролітний аналізатор кисню погрузного типу ТДК-3М «ОКСИМЕСС» призначений для безперервного виміру об'ємного вмісту кисню в димових газах котельних установок на об'єктах теплоенергетики, киснево-повітряних сумішах, а також в захисних інертних середовищах. Газоаналізатор містить блок формування уніфікованого вихідного сигналу і може застосовуватися в автоматизованих системах управління технологічними процесами.

1.5.2 Переваги ТДК-3М

До переваг аналізатора ТДК-3М слід віднести стійку надійну роботу в сильно запилених, вологих, таких, що містять оксиди сірки газових середовищах, простоту в експлуатації, перевірці, монтажі і обслуговуванні.

Основними перевагами газоаналізатора в порівнянні з аналогами є:

- низька робоча температура вимірювальної чарунки (570 °С), що дозволяє значно збільшити термін служби газоаналізатора, особливо в газах, що містять оксиди сірки;
- наявність ефективного фільтру, який забезпечує безперебійну роботу газоаналізатора в середовищах з будь-якою запиленою упродовж усього періоду експлуатації без необхідності його заміни або чищення.

Газоаналізатори «ОКСИМЕСС» випускаються більше 8 років. Нині успішно експлуатується більше тисячі аналізаторів на ряду великих теплоенергетичних підприємств РАО «ЄЕС Росії», що працюють на газі, вугіллі і мазуті.

1.5.3 Основні технічні характеристики ТДК-3М

Межі виміру вільного кисню, про. %	0...100
Робоча температура осередку, град	570

Межа похибки, що припускається, в інтервалі (2-100)% кисню, %	± 2
Межа похибки, що припускається, в інтервалі (0-2)% кисню, %	0,04
Затримка свідчень при різкій зміні сдержания кисню, з	3
Межа часу встановлення свідчень, що допускається, з	30
Характеристики аналізованого газу	
Температура, °C.	0...570
Абсолютна вологість, %	до 100
Пиловміст	не нормируется
Тиск, кПа	100 ± 10

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО МЕТОДУ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ

2.1. Методи контролю кисню в газових сумішах

Контроль за вмістом кисню в технологічних газах і газових викидах належить до одних з найбільш складних проблем. Вимірювальні концентрації кисню в багатьох випадках визначаються десятими і сотими долями процентів. У багатьох випадках доводиться виконувати аналіз багатокомпонентних газових сумішей, які представляють собою складні аналітичні системи з прямими та посередніми зв'язками. Деякі речовини, котрі стійкі в інших середовищах, терплять перетворення при наявності кисню, що іноді достатньо сильно впливає на якість вироблюваної продукції. Існуючі методи аналізу кисню передбачають наявність високої чутливості, вибірковості і можливість отримання кількісної оцінки про вміст кисню в АГС. Більшість методів, які використовуються для аналізу, засновано на фізико-хімічних властивостях кисню. При цьому важливою проблемою є відбір і підготовка газу на аналіз.

Усі практичні методи контролю кисню мають конкретне призначення, яке визначається рядом причин. До них відноситься нижній і верхній рівень вимірювальних концентрацій, склад газової суміші, умови виконання аналізу тощо. Ці обмеження обумовлюють інформативність методів. При дуже низьких концентраціях кисню, а також при дуже високих їх значеннях інформативність різко зменшується. Тому робоча ділянка кожного методу обмежена.

Найбільш широке розповсюдження для контролю за низькими концентраціями кисню в газових сумішах (до 0,1 % об'ємних) одержали аналітичні методи з використанням різних фізико-хімічних принципів. Серед них до 60 % займають хімічні методи. В основному, фізико-хімічні методи відрізняються складністю виконання аналізу, тривалістю та достатньо низькими метрологічними характеристиками.

Відомі такі методи аналітичного контролю вмісту кисню в газових сумішах: хімічний, електрохімічний, термокондуктометричний, акустичний,

пневматичний, іонізаційний, оптичний, масспектрометричний, хроматографічний і магнітний [2].

2.2 Електрохімічні методи аналізу

Розглянемо електрохімічні методи аналізу. По – перше, це – інтегрованість методів аналітичного дослідження складу речовин, що базуються на реакціях, що відбуваються на поверхнях електродів або у площині між електронами. Під час реакцій проводять вимірювання декількох показників. Це можуть бути: потенціал, сила струму, повний електричний опір, ємність, електропровідність, діелектрична проникність, проте значення цих показників обов’язково пропорційні концентраціям речовин, що визначаються.

Електрохімічні методи, що відбуваються на електродній електрохімічній реакції класифікують на: потенціометрію, полярографію, вольтамперометрію, амперометрію, хронопотенціометрію, електроліз, кулонометрію та інші.

Електрохімічні методи, що не пов’язані з електродною електрохімічною реакцією поділяють на: кондуктометрію, діелекрометрію.

Електрохімічні методи, що, пов’язані з зміною структури подвійного електричного шару називають тензометрією.

З науково технічної літератури, що присвячена питання хімічного аналізу повітря та його контролю якості, відомо, що з застосуванням електрохімічних методів аналітичного дослідження можна виявити більше як шістдесят елементів у складі мінералів, різних матеріалів та навіть у руді.

Розглянемо кожен з електрохімічних методів окремо.

По-перше, потенціометрія –це фізико-хімічний метод кількісного аналізу, який формується на процесах вимірювання електрохімічного потенціалу електроду у розчині речовини, що досліджується. Метод потенцеометрії набув широкого використання при визначені концентрації електролітів. Потенціометрія використовується також в автоматизованих системах аналітичного контролю технологічних потоків на збагачувальних фабриках і гідрометалургійних заводах[20].

Потенціометричний метод засновано на вимірюванні електрорушійних сил зворотних електрохімічних кіл, коли робочий електрод має потенціал,

близький до рівновагового значення. Електролітичні чарунки можуть бути з рідким або твердим електролітом. Для вимірювання кисню в газах найчастіше використовуються тверді електроліти.

При зіткненні двох металів, металу з розчином, двох розчинів і т.п. між ними утвориться різниця потенціалів, що відомий як потенціал границі роздільної фаз. Для потенціометрії найбільш важливим є потенціал, що виникає між металом і розчином. При зануренні металевого електрода в розчин, що містить іони цього ж металу, між твердою й рідкою фазами встановлюється рівновага



де Me^{Z+} - елемент відповідної валентності

Електродний потенціал, що виникає на границі метал-розчин, називають рівноважним потенціалом.

Електрод, занурений у розчин, представляє собою напівелемент. Прямо виміряти потенціал окремого електрода неможливо, для цього використовують метод, заснований на порівнюванні значення потенціалу одного електрода з значенням потенціалу іншого електрода.

Два електрода, занурені в відповідні розтвори, мають свої власні, характерні для даних умов потенціали і утворюють гальванічний елемент, напруга котрого дорівнює алгебраїчній різниці цих потенціалів.

$$E = \phi_a - \phi_k, \quad (2.2)$$

де ϕ_a - потенціал анода,

ϕ_k - потенціал катода.

Найбільш широко використовуються водневі, каломельні, хлорсрібні електроди і інше. Залежність потенціалу електрода від концентрації кисню при температурі 25 °C виражається рівнянням Нернста.

$$E = E_0 + [0.05916 / (ne)] \lg C \quad (2.3)$$

де E_0 – нормальний електродний потенціал;

C – концентрація іонів АС

Позитивні властивості методу: широкий діапазон вимірювання, мала

інерційність, можливість розрахунку статичної характеристики, простота конструкції. До основних недоліків відносяться: трудність забезпечити добру адгезію електродів до електроліту, нестабільність показань протягом часу використання приладу, необхідність створення високої робочої температури (від 500 до 1200 °C) [2].

По-друге, метод полярографії —це електрохімічний метод кількісного аналізу, який формується на процесах кінетики хімічних процесів, які формуються на вивченні вольт-амперних залежностей, що отримують під час електролізу речовини, що досліджують. Найбільшого застосування цей метод набув для визначення домішок металів. Даний електрохімічний метод аналізу і дослідження речовин засновано на вимірюванні граничного дифузійного струму. Функція полярографії формується в розшифруванні вольт-амперних залежностей, що пропорційно силі струму, яку прикладено до електролітичної комірки. [19].

2.3 Кондуктометричний метод

Кондуктометричний метод засновано на вимірюванні електропровідності розчинів при селективному поглинанні ними кисню.

Прилади, принцип дії яких заснований на вимірі електропровідності розчинів, показують повну провідність, створену різними іонами, що знагодилися в розчині. Концентрацію однієї речовини в розчині можна визначити тільки в тому випадку, якщо електропровідність інших речовин істотно нижче або якщо їхня концентрація залишається незмінною й не впливає на провідність.

Електропровідність розчину характеризує обумовлений компонент і в тому випадку, якщо концентрації невизначуваних компонентів розчину змінюються пропорційно концентрації обумовленого компонента. Залежність електропровідності від концентрації обумовленого компонента може бути лінійною або нелінійною.

У випадку нелінійної залежності на іони дисоціюють не всі молекули, а тільки найбільш активна частина молекул, що ускладнює вимір електропровідності.

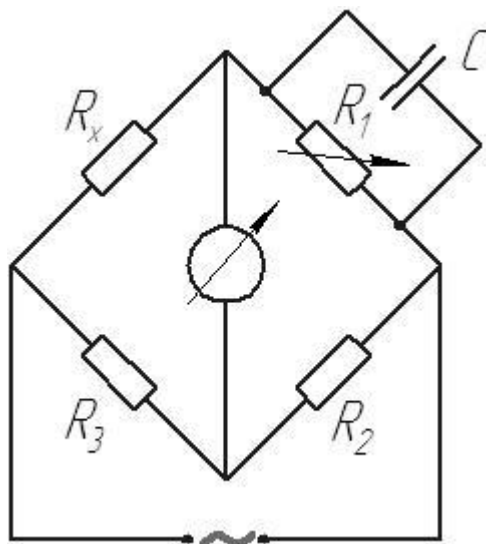


Рисунок 2.1–Мостова схема

Схема виміру електропровідності представлена на рис. 2.1 Три плеча чотирьох плечового електричного мосту утворені постійними резисторами з опорами R_1 , R_2 і R_3 . Опір резистора R_1 можна регулювати. Четверте плече мосту утворене резистором R_x , що імітує опір вимірювальної чарунки. Конденсатор змінної ємності C , включений паралельно резистору R_1 , призначений для усунення впливу ємності електродів на результат виміру електропровідності.

У стані рівноваги, коли в пробі АГС, сорбуємої розчином електроліту, відсутній обумовлений компонент, у діагоналі зняття мосту електричний струм відсутній. При наявності в пробі АГС обумовленого компонента рівновага мосту порушується, і в діагоналі знімання мосту з'являється електричний струм. Значення цього струму є функцією концентрації обумовленого компонента проби АГС, сорбуємої розчином електроліту.

Вимірювальна чарунка кондуктометричного газоаналізатора складається з реакційної сосуди 2, в котрій АГС сорбується розчином електроліту, вимірювальної ячейки 3, в котрій розташовані вимірювальні електроди 4. Частина АГС відводиться в зливну трубку 1, не абсорбований газ виводиться через штуцер. Вимірювальні електроди включені в схему вимірювального мосту, котрий живиться від блоку перемінної напруги. В якості електроліту використовують азотну кислоту.

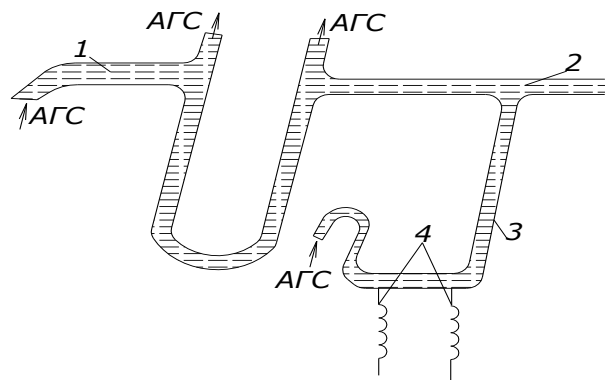


Рисунок 2.2 – Вимірювальна чарунка кондуктометричного газоаналізатора
1-зливна трубка, 2-реакційний посуд, 3- вимірювальна комірка, 4- вимірювальні електроди.

Недоліками цього методу є низька точність вимірювання, необхідність спеціальних розчинів для поглинання кисню, мала вибірковість аналізу, велика залежність від температури.

2.4 Термокондуктометричний метод

Даний метод засновано на вимірюванні теплового потоку при заданому розподілі температури або температури в тій чи іншій точці досліджуваного об'єму при заданому значенні теплового потоку. Як правило, для побудови газоаналізаторів використовується останній спосіб. Класичними вимірювальними схемами термокондуктометричних газоаналізаторів є мостові електричні вимірювальні схеми. Газові камери газоаналізаторів можуть бути проточними, дифузійними та напівдифузійними. До основних переваг методу можна віднести такі: достатньо висока точність вимірювання, висока надійність, простота конструкції. Недоліками методу є відсутність вибірковості, непридатність для вимірювання кисню в суміші з азотом, залежність показань приладу від температури, атмосферного тиску і вологості аналізованої проби та деякі інші.

2.5 Вибір та обґрунтування обраного методу

Для побудови автоматичних стаціонарних приладів визначення кисню в

димових газах котлоагрегатів найбільш придатними є електрохімічний метод. Цей методи заснований на залежності ЕРС твердоелектролітного сенсора від відношення парціальних тисків кисню в АГС (димових газах) і порівняльної суміші (атмосферне повітря). Такі газоаналізатори достатньо прості в конструктивному виконанні, надійні. Широко використовуються в промисловості для оптимального регулювання процесів спалювання палива в котлоагрегатах, а саме: теплоенергетика, металургія, нафтохімія, виробництво будівельних матеріалів, комунально-побутовий сектор і інші галузі, де використовуються паливоспалювальні агрегати.

До основних недоліків можна віднести:

- необхідність створення високої робочої температури (від 500 до 600 °C);
- нелінійність статичної характеристики;
- залежність від температури навколишнього середовища і барометричного тиску;
- некисневої частини газової суміші;
- відсутність уніфікації в залежності від діапазону вимірювання.

Аналізуючи різні методи контролю за вмістом кисню в газових сумішах, бачимо, що перед ними на сучасному етапі стоять складні проблеми. Виходячи зі сказаного, можна намітити такі напрямки дослідження для їх вирішення:

- використання найновіших досягнень аналітичної хімії для вимірювання мікроконцентрацій кисню в багатокомпонентних газових сумішах (до 0,1 % об'ємних);
- використання високоточних інструментальних методів безпосереднього контролю для метрологічної атестації газоаналізаторів для вимірювання кисню в газових сумішах;
- виконання фундаментальних теоретичних та експериментальних досліджень в області відомих і нових методів аналітичного контролю;
- розробка універсальних високочутливих первинних вимірювальних перетворювачів складу кисню і на їх основі стаціонарних автоматичних газоаналізаторів.

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКЦІЯ АНАЛІЗАТОРА ТА ПРИНЦИП ДІЇ

3.1 Конструкція аналізатора

Конструктивно аналізатор кисню складається з двох вузлів, які зв'язані між собою електричним колом:

- первинного вимірювально перетворювача (ПВП) та проміжного перетворювача (ПП);
- блоку живлення (БЖ).

ПП складається з двох плат:

- Обчислювальна плата
- Плата живлення

Обчислювальна плата - посилює і стабілізує нелінійний вихідний сигнал ЧЕ ПВП до нормованого значення 0 - 10 В.

Плата живлення формує необхідну напругу і підтримує задану робочу температуру ЧЕ ПВП з необхідною точністю, а також інформує про перевищення температури ЧЕ ПВП вище встановленого порогу спалювання.

ПП і БЖ виконані в уніфікованих корпусах (з ударостійкого і хімічно стійкого полікарбонату), що забезпечують необхідну міру захисту і вентиляцію.

БЖ призначений для живлення змінним струмом ПП, нагрівача ПВП та гальванічної розв'язки кола нагрівача від мережі живлення.

3.1.1 Проміжний перетворювач

Для трансформації електрорушійної сили, що пропорційна об'ємній частці кисню в димових газах котлових агрегатів, в електричний сигнал, було спроектовано додатковий вузол, а саме проміжний перетворювач (ПП). Корпус цього перетворювача виготовлено з стійкого полікарбонату. До його конструкції входить спеціалізований контролер для каналу вимірювання вмісту кисню, діоксиду вуглецю, ефективності горіння та температури димових газів. Цей контролер можна запрограмувати на передачу даних необхідних показників. Він також виконує обробку та керування інформаційними

сигналами про вимірювальні величини концентрацій газів. Така інформація надходить до контролеру з первинних вимірювальних перетворювачів цифровому форматі.

ПП поєднує 4 плати, крос-плату і оптодиристор. Плати вставляються по направляючих в корпусі ПП, в задній стінці якого установлена друкована крос-плата з відповідними роз'ємами для комутації електричних з'єднань. Плати закриті лицевою панеллю з вікном для вакуумних індикаторів, отворами для світлодіодів і органами налаштування. Кришка ПП прозора для візуального відліку цифрових показів вмісту кисню або температури ЧЕ ПВП, індикації режимів роботи, перегрів та хімічний недопал. У нижній частині направляючих встановлений оптодиристор. Внизу корпусу розташовано 3 блокові роз'єми, призначених для зовнішніх електричних з'єднань.

3.1.2 Блок живлення

БЖ містить силовий трансформатор, тумблер «СЕТЬ», два тримачі плавкої вставки і світлодіод індикації наявності мережевого живлення. В нижній частині корпусу розташовані два блочних роз'єми для підключення до мережі живлення ПП.

3.2 Опис роботи аналізатора

ЕРС постійної напруги ЧЕ пропорційна об'ємній долі кисню в аналізованому газовому середовищі (димових газах) при постійному парціальному тиску кисню в порівняльній газовій суміші (атмосферному повітрі) і сигнал постійної напруги ТП, відповідний робочій температурі ЧЕ, з вихідного роз'єму ПВП, через екранований електричний провідник.

Підсилений аналоговий лінійний сигнал з виходу плати підсилення подається на входи: плати індикації, з індикацією безпосередньо в процентах кисню, і плати сигналізації, для формування лінійного сигналу сталого струму 0-5 мА або 4-20 мА.

Підсилений аналоговий сигнал ТП з виходу плати сигналізації подається на вхід плати індикації, з індикацією безпосередньо в 0С.

Робоча температура ЧЕ встановлюється з допомогою нагрівача ПВП і підтримується пристроєм термостабілізації плати живлення.

Аналізатор забезпечує вивід на вбудований чотирьохрозрядний цифровий світлодіодний індикатор (ЦІ) показів кисню O_2 (об. %), які відповідають діапазону вимірюної частки кисню, покази робочої температури $^{\circ}C$ ПВП, а також виводити розрахункове значення.

Покази, які відповідають вимірюному значенню робочої температури ПВП виводяться в цифровому вигляді на чотирьохрозрядний ЦІ, з ціною одиниці найменшого розряду показу $10^{\circ}C$, 1%, 0,1 відповідно.

Вихідні аналогові сигнали (в залежності від виконання), які відповідають діапазону вимірюної об'ємної частки кисню є уніфікованими електричними сигналами постійного струму 0-5 мА при відповідному навантаженні до 2000 Ом або 4-20 мА – до 500 Ом.

Вихідний сигнал, який відповідає вимірюній частці кисню, що виводиться через інтерфейс RS232 є послідовним двійковим кодом по ГОСТ 26014-76.

Як датчик температури використовується еквівалентний опір твердого електроліту ЧЕ по змінному струму.

РОЗДІЛ 4 ВИЗНАЧЕННЯ І АНАЛІЗ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГАЗОАНАЛІЗАТОРА

Для вихідного аналогового сигналу 0 - 5 мА номінальна статична функція перетворення записується формулою (рисунок 4.1):

$$I = k \cdot C \quad (4.1)$$

де I – значення вихідного аналогового сигналу, мА

C – об’ємна доля кисню, %

k – коефіцієнт пропорційності 0,5, мА/%

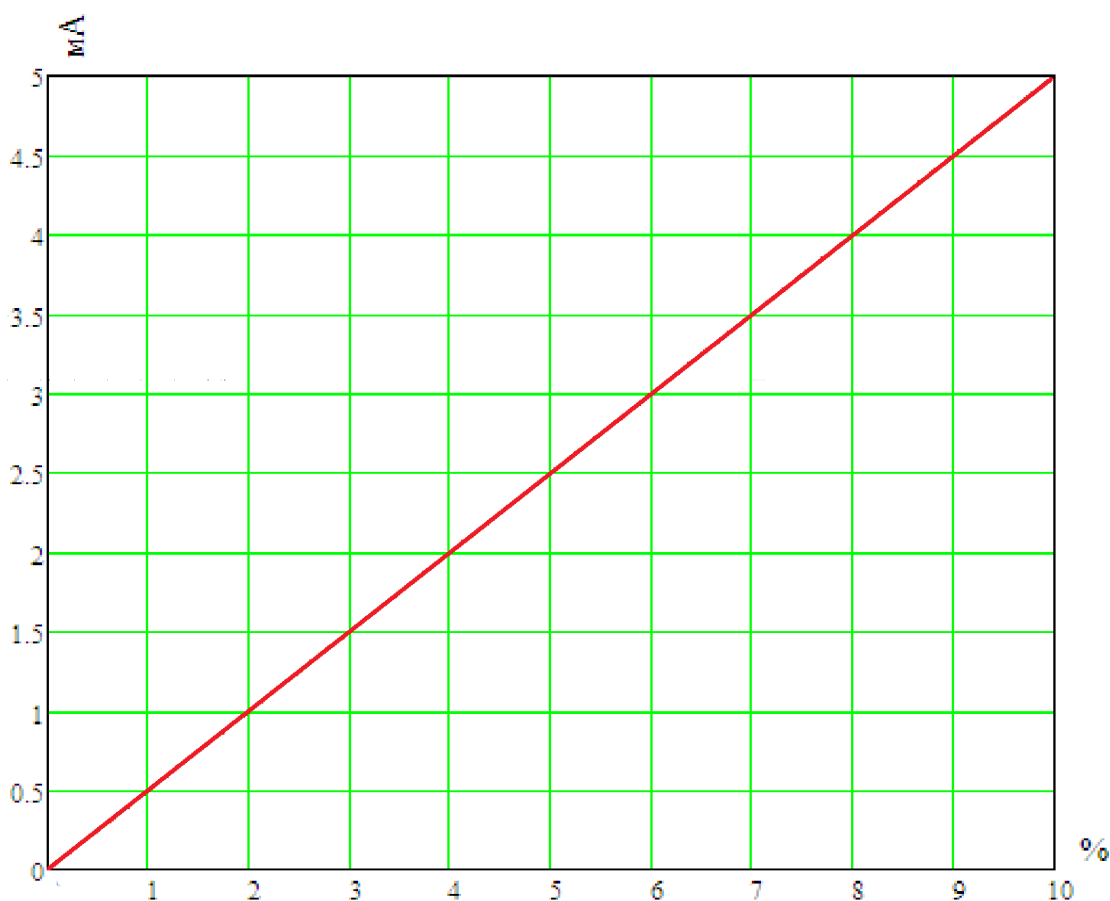


Рисунок 4.1 – Номінальна статична функція перетворення газоаналізатора для вихідного аналогового сигналу 0-5 м

Для вихідного аналогового сигналу 4 - 20 мА номінальна статична функція перетворення записується формулою:

$$I = k \cdot C \cdot A, \quad (4.2)$$

де I – значення вихідного аналогового сигналу, мА

C – об'ємна доля кисню, %

A – 4 мА

k – коефіцієнт пропорційності 1,6 мА/%



Рисунок 4.2 – Номінальна статична функція перетворення аналізатора для вихідного аналогового сигналу 4-20 м

РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ГАЗОАНАЛІЗАТОРА

5.1 Абсолютна похибка

Для визначення абсолютної похибки вихідного сигналу аналізатору кисню необхідно врахувати вплив кожного елементу аналізатору на загальну похибку вихідного сигналу, тобто, щоб визначити похибку аналізатору, необхідно знати похибки елементів та вузлів аналізатору. Визначити похибку вихідного сигналу дозволяє метод розкладання функції перетворення, що характеризує всі елементи аналізатору, в ряд Тейлора.[2].

Коефіцієнт перетворення k_p є характеристикою підсилювача і постійний

для кожного підсилювача. Похибка від цього коефіцієнту виключається конструктивно (коректором чутливості приладу). Коефіцієнт ε_V при певній швидкості потоку газу є змінним. Для того щоб зменшити вплив температури ПВП розроблено конструкцію з термопари, яка мінімізує вплив Чутливість твердоелетролітного елемента S_p є постійною величиною. Вплив від величини C вимірюється аналізатором. $K_{с.в.п.}=1$, тому його можна виключити. Враховуючи всі ці фактори, можна вираз (5.1) переписати, залишивши в ньому ті складові, які суттєво впливають на вихідний сигнал, порівняно з вище згаданими. Тоді одержимо:

$$\Delta U_{вих} = \left(\frac{\partial U_{вих}}{\partial R} \right) \cdot \Delta R + \left(\frac{\partial U_{вих}}{\partial C} \right) \cdot \Delta C + \left(\frac{\partial U_{вих}}{\partial L} \right) \cdot \Delta L \quad (5.1)$$

Опір R виконується з відносною похибкою $\delta R = 2\%$, тоді абсолютна похибка від опору R :

$$\Delta R = R \cdot \delta R = 100 \cdot 0,01 = 1 \text{ Ом.}$$

Оскільки ми ведемо розрахунки при максимальному вихідному сигналі тоді,

$$\frac{\partial U_{вих}}{\partial R} = 0,05;$$

Підставивши всі одержані величини у вираз (5.2), одержимо абсолютну похибку:

$$\Delta U_{вих} = 0,1 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 0,5 + 0,05 = 0,02 \text{ В}$$

5.2 Відносна похибка

Відносна похибка вихідного сигналу аналізатору може бути знайдена за формулою:

$$\delta = \left(\frac{\Delta U_{вих}}{U_{max} - U_{min}} \right) \cdot 100\% \quad (5.2)$$

де $\Delta U_{вих}$ – абсолютна похибка вихідного сигналу аналізатору;

U_{min} – напруга на виході аналізатору, що відповідає початку шкали приладу;

U_{max} – напруга на виході аналізатору, що відповідає кінцю шкали приладу.

Відповідно до розробки технічного завдання при зміні об'ємної частки кисню від 0 до 10 % об, вихідна напруга буде мінятися від 1 до 0 В. Таким

чином:

$$\delta = \left(\frac{0,02}{1-0} \right) \cdot 100 \% = 2 \%$$

Отже абсолютна похибка вихідного сигналу:

$$\Delta U_{\text{вих}} = 0,02 \text{ В}$$

Відносна похибка вихідного сигналу $\delta = 2 \%$.

Границі допустимого часу встановлення показів кисню до рівня 0,9 від установленого значення вихідного каналового сигналу не більше 15 с.

Границі допустимої додаткової абсолютної похибки складають:

- при зміні об'ємної частки оксиду вуглецю в аналізованій суміші від 0 до 0,1 % $\pm 0,2 \%$.
- при зміні об'ємної частки водню в аналізованій суміші від 0 до 0,1 % $\pm 0,2 \%$.

5.3 Основна приведена похибка аналізатору

Значення похибки, що виражено залежність абсолютної похибки аналізатору до умовно набутого значення величини, постійного в усьому діапазоні вимірів або в частині діапазону називається приведеною. Така похибка обчислюється за формулою, що наведено нижче, і це є класичним визначенням похибки вимірювання:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_n} \quad (5.4)$$

де x_n – показник вимірювання концентрації газу, що залежить від типу шкали аналізатору; визначається по градуюванню аналізатору у наступній послідовності:

- у випадку, коли шкала аналізатору одностороння, а саме нижня межа вимірів дорівнює нулю, тоді x_n визначаємо за рівнем верхньої межі вимірів;
- у випадку, коли шкала аналізатору двостороння, тоді нормоване значення дорівнює ширині діапазону вимірів аналізатору концентрації газів.

Отже, основна приведена похибка дорівнює 3%.

Висновки: При розробці технічного завдання ми задавались основною

приведеною похибкою 3 %. Отже, вимоги технічного завдання виконані повністю. Звичайно одержана величина похибки може бути зменшена за рахунок зменшення точності елементів схеми аналізатору та стабілізації блоку живлення джерела випромінювання [8].

РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ПЕРВИННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ БЛОКУ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Процес проникнення кисню у склад твердого електроліту можливий лише вздовж градієнту концентрації кисню. Тобто кисень не всмоктується поверхнями стінок втулки, а на поверхні електроліту забезпечено технологічно сталість (константу) умов для проведення реакції дифузії кисню. Хочемо зазначити, що

Хочемо зазначити, що не існує градієнта температур всередині термоелектронного сенсора вздовж осі абсцис; оскільки електроди термоелектронного сенсору аналізатору мають пористу структуру, тоді отримуємо електродний процес на трифазній межі газ-електроліт-електрод. Термоелектричний сенсор аналізатору газової суміші на вміст концентрацій вимірювальних газів симетричний відносно осі абсцис.

При розробці математичної моделі аналізатору повітряної суміші на вміст концентрації газів, було враховано фізичні реакції, які перераховано нижче:

- по-перше, рух молекул кисню вздовж термоелектронного сенсору аналізатору (ось абсцис);
- реакція дифузії кисню, що відбувається в твердому електроліті.

З урахування наведеного вище та закону збереження мас, можемо записати рівняння балансу мас всередині твердого електроліту у вигляді виразу. [6]:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Потік, що заходить} \\ \text{у твердий електроліт} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Потік, що виходить з} \\ \text{твердого електроліту} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Швидкість накоплення кисню} \\ \text{у твердому електроліті} \end{array} \right]$$

Хочемо зазначити, що при протіканні реакції вимірювання швидкість вхідного та вихідного потоків перевищують швидкість дифузії кисню у твердий електроліт та навпаки.

Множина іонів кисню проходить через поверхню термоелектронного сенсора, що відповідає реакціям, що описує перший закон Фіка, формула зазначена нижче:

$$N = -p(T) \cdot \frac{dC_{O_2}(x,t)}{dx} \quad (6.1)$$

де $p(T)$ – показник проникності кисню у поверхню електроліту від температури;

$$\frac{dC_{O_2}(x,t)}{dx} \text{ – концентрація кисню в твердому електроліті.}$$

Для розрахунків приймемо дані з зазначенням електролітів та їх властивостей з таблиці, наведеною нижче.

Електроліт	σ , см/м	E_a , eB
RbAg ₄ I ₅	28	0,10
Ag ₆ WO ₄ I ₄	4,2	0,25
Cs ₂ Ag ₃ Br ₃ I ₂	0,1	0,38
Cu ₄ RbCl ₃ I ₂	47	0,12
Na ₂ O·10Al ₂ O ₃	0,5	0,15
H ₂ SO ₄ (10 мас.%)	39,2	-

E_a – напруженість електричного поля, показники зазначені за умови кімнатної температури 298 К (23°C), σ електропровідність.

Швидкість накопичення кисню у твердому електроліті термоелектронного сенсора визначається за формулою, що зазначено нижче:

$$\frac{d}{dt} \left[P(T) \times S_1 \times \delta x \times \left(C_{O_2}(x,t) - C'_{O_2}(x,t) \right) \right] \quad (6.2)$$

де $P(T)$ – показник, що визначає розчинність кисню у електроліті термоелектронного сенсора (аналізатору);

S_1 – площа поверхні електроліту де відбувається реакція визначається за формулою наведеною нижче. Для нашого розрахунку необхідно враховувати,

що площа поверхні електроліту де відбувається реакція тотожна площі електроду $A1$;

$C_{o_2}(x, t)$ – концентрація кисню в електроліті в момент часу, що зазначено t ;

$C'_{o_2}(x, t)$ – концентрація кисню в електроліті на початку реакції накопичення кисню в електроліті.

Після врахування наведених математичних розрахунків, початкова математична модель термоелектронного сенсору, а саме аналізатору кисню в котлових агрегатах запишемо у вигляді формули, наведеної нижче [6]:

$$\begin{aligned} S_1 p(T) \frac{dC_{o_2}(x, t)}{dx} \Big|_x + S_2 p(T) \frac{dC_{o_2}(x, t)}{dx} \Big|_x + \delta x = \\ = \frac{d}{dt} \left[P(T) \times S_1 \times \delta x \times \left(C_{o_2}(x, t) \right) \right] \end{aligned} \quad (6.3)$$

де S_2 – площа електроліту, що вступає у реакції насичення киснем, при наших аналітичних дослідженнях тотожна площі електроду $A2$, а для загального випадку необхідно приймати наступну рівність $S_1 \neq S_2$;

x – показник, що обмежений значенням h , тому запишемо $x \in (0; h)$.

Хочемо зазначити, що важливо враховувати процеси, що відбуваються у електроліті, по всій товщині сенсору. Для наших розрахунків миза формулами враховуємо показник насичення киснем на нульовій координаті поверхні $A1$ електроду. Тобто можемо записати, що $x = 0$.

Для другої складової необхідно зараховувати концентрацію кисню на поверхні електроду $A2$, з цього отримуємо $\delta x \rightarrow h$. Після врахування наведених математичних перетворень запишемо формулу 6.3 у вигляді:

$$S_1 p(T) \frac{dC_{o_2}(x, t)}{dx} \Big|_0 + S_2 p(T) \frac{dC_{o_2}(x, t)}{dx} \Big|_h = \frac{d}{dt} \left[P(T) \times S_1 \times h \times \left(C_{o_2}(x, t) \right) \right] \quad (6.4)$$

З урахуванням початкових умов: $C_{o_2}(0, 0) = C_{o_2}^0 = const$, перепишемо

формулу у вигляді:

$$C_{O_2}(x,0) = C''_{O_2} + \frac{C_{O_2} - C''_{O_2}}{h} \times x, \quad C_{O_2}(h,0) = C''_{O_2} \quad (6.5)$$

де C''_{O_2} , C_{O_2} – відповідно, концентрації кисню на поверхні $A1$ та $A2$ у початковий момент часу.

При врахуванні умови, що швидкості потоків кисню, який потрапляє на електроди $A1$ та $A2$, перевищує швидкість його дифузії у термоелектронному сенсори [4], тоді запишемо рівняння (6.6):

$$D(T) \times \left[\frac{S_2}{S_1} \times \frac{dC_{O_2}(x,t)}{dx} \Big|_h - \frac{dC_{O_2}(x,t)}{dx} \Big|_0 \right] = h \times \frac{dC_{O_2}(x,t)}{dt} \quad (6.6)$$

Врахуємо умову, що $\frac{dC'_{O_2}(x,t)}{dt} = 0$,

Відомо, що показник $C'_{O_2}(x,t)$ це стала величина, що дорівнює 21%об.;

де $D(T)$ – стала реакції дифузії кисню у електроліті, що протікає у твердій структурі, цю сталу у науково-технічній літературі прийнято називати коефіцієнтом Арреніуса [6]:

$$D(T) = \frac{p(T)}{P(T)} = D_0 e^{-\frac{\delta E_a}{pT}} \quad (6.7)$$

де δE_a - енергія активації;

P - стала Больцмана;

T – температура;

D_0 – коефіцієнт дифузії за температури T .

Після проведених математичних перетворень та підстановки першої складової можемо записати формулу:

$$\frac{dC_{O_2}(x,t)}{dx} \Big|_h = \frac{dC''_{O_2}(t)}{dt} \times \frac{1}{V} \quad (6.8)$$

де V – швидкість кисню на виході з термоелектронного сенсору аналізатору кисню для котлових агрегатів;

$C''_{O_2}(t)$ – концентрація кисню на поверхні електроду А2

термоелектронного сенсору аналізатору кисню для котлових агрегатів.

Зазначена заміна у формулі є вірною, адже показник концентрації кисню є величиною залежною від часу і тільки. Показник швидкості потоку кисню є величиною залежною від умов під час вимірювання концентрації кисню, а саме від тяги й робочої температури. Показник швидкості потоку кисню є сталою для кожного окремо термоелектронного сенсору. Цей показник розраховується за формулою:

$$\frac{D(T)}{V} \times \frac{S_2}{S_1} \times \frac{dC''_{O_2}(t)}{dt} = h \times \frac{dC_{O_2}(x,t)}{dt} \quad (6.9)$$

Після проведення математичних дій, що дозволяють спростити попереднє рівняння, ми отримуємо рівняння математичної моделі термоелектронного сенсору для визначення концентрації кисню у котлових агрегатах.

$$\frac{dC_{O_2}(x,t)}{dC''_{O_2}(t)} = \frac{D(T)}{h} \times \frac{S_2}{S_1} \times \frac{1}{V} \quad (6.10)$$

Необхідно враховувати початкові та граничні умови, що ми зазначали вище:

$$C_{O_2}(x,t)|_{x=h} = C''_{O_2}(t); C_{O_2}(x,t)|_{x=0} = C^0_{O_2} = const \quad (6.11)$$

З цього рівняння видно, що права частина є константою. І водночас виконується умова $S_1 \geq S_2$, за дотримання якої виходить - константа не перевищує показник, який дорівнює одиниці. При цьому концентрація кисню у твердому електроліті лінійна та є параметром залежним від змін концентрації кисню у камері 2 за температури, що є сталою величиною.

З цього слід зазначити висновок, що для термоелектронного сенсору аналізатору кисню для котлових агрегатів швидкість зростання концентрації кисню у твердому електроліті, а, відповідно, і швидкість відклику на зміну інформативного параметру, буде зростати у відповідності з темпом зменшення товщини електроліту сенсору аналізатору кисню. Проте необхідно врахувати,

що зайве зниження зазначеного параметру створює новий тип сенсорів, а саме плівковий термоелектронний сенсор. Хоча це ще не робоча конструкція плівкового сенсору, їй необхідне вдосконалення, адже у такому випадку відбуваються його зміни механічних властивостей, а це пропорційно відображається на якості сенсору. Такої ж реакції досягаємо з зменшенням площі реакційної зони S_1 (або її збільшенням S_2), хоча тут також існують обмеження, адже необмежене зменшення або збільшення площі зони де відбувається реакція також призводить до зниження точності визначення концентрації кисню, та зниження якості сенсору. При зайвому зростанні співвідношення площ S_2/S_1 відповідно відбувається зростання струмів переносу, що призводить до набуття показників струму критичних та поляризаційних явищ, а це є небажаним, хоча існують випадки при яких можливо так проводити вимірювання кисню у газовій суміші.

Швидкість реакції сенсору можемо контролювати при застосуванні зниження швидкості потоку кисню з сенсору, однак слід враховувати ризики, що полягають у досягненні меж, при яких швидкість вихідного потоку кисню буде порівняно з швидкістю дифузії кисню з твердого електроліту у газову фазу у камері 2. А такий випадок хімічних реакцій конструкцією не передбачено.

При зростанні температури під час реакції досягається зростання коефіцієнту дифузії. Однак, необхідно враховувати те, що всі елементи мають власну критичну температуру, при досягненні якої, вони змінюють власні електрохімічні та механічні властивості. Тому всі температури елементів сенсору необхідно контролювати в зазначених межах, для того щоб відбувались правильні реакції. При дотриманні таких вимог та вимог щодо заміни конструктивних параметрів сенсору можливо оптимізувати роботу аналізатору кисню в котлових агрегатах.

Застосування термоелектронного сенсору кисню для котлових агрегатів дозволило спроектувати первинний вимірювальний перетворювач, конструкція якого дозволяє його розташування в зоні димових газів при температурі згорання палива до 600°C, а це є новим вдосконаленим типом аналізатору кисню, що дозволить проводити вимірювання концентрації кисню у котлових

агрегатах та оптимізувати роботу котлів. Первинний вимірювальний перетворювач виготовлено з жаростійкої нержавіючої сталі, його конструкція схожа на конструкцію зонду з фланцем. Оскільки даний сенсор має конструкцію занурювального типу, тому хочемо зазначити, що довжину занурювальної частини, визначають від параметрів газоходу котлу.

РОЗДІЛ 7 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАННЯ АНАЛІЗАТОРА

Так як аналізатор конструктивно складається з двох вузлів, то і потужність відповідно має два значення:

- первинний вимірювальний перетворювач (щуп – зонд з вмонтованим в ньому електрохімічним сенсором) – 150 ВА
- блок цифрової індикації результатів вимірів і електронної обробки вимірювальної інформації – 350 ВА

Отже, джерело живлення аналізатора має забезпечити потужність 500 ВА.

РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПЕРВИННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА АНАЛІЗАТОРА

ПВП є трубчастою конструкцією з фланцем і розподільною коробкою, на якій встановлені блоковий роз'єм для електричного зв'язку з ПП і штуцер для підведення повітря в зону ЧЕ ПВП. Фланець, який приєднується, містить пристрій для підведення перевірконої газової суміші, дозволяє проводити перевірку або калібрування аналізатора без демонтажу його з газоходу котла. Погружная частина ПВП містить нагрівальний елемент у вигляді спіралі, термостатичну камеру і твердо електролітний ЧЕ у формі диска з діоксиду цирконію. Усередині металевої труби, ізольовано один від одного, розташований ТП для контролю температури. Виводи нагрівального елементу виконані з металевого дроту. Надійний контакт з електродом здійснюється притискною пружиною.

Аналізований димовий газ подається до робочого електроду ЧЕ через металокерамічний фільтр, закріплений в корпусі конструкції. ПВП кріпиться болтами до монтажного фланця, що входить в комплект поставки через паронітову прокладку.

ПВП встановлюється на газоході котлоагрегата, а погрузна частина ПВП (завдовжки 0,5; 1,0; 1,5м залежно від параметрів об'єкту) – безпосередньо в зоні димових газів. ПП монтується по місцю на щиті управління технологічним процесом. ПВП перетворює об'ємну долю кисню в димових газах в електричний сигнал - ЕРС постійної напруги. В якості твердоелектролітного чутливого елементу (ЧЕ) застосований диск з діоксиду цирконію стабілізованого оксидом ітрію, з двома пористими електродами. Як високотемпературний датчик температури використано ТП типу ТХА, який перетворить температуру в електричний сигнал постійної напруги. ПП підсилює електричні сигнали ПВП до нормованих значень і видає вихідні уніфіковані сигнали постійного струму 0-5 мА або 4-20 мА, а також цифрову індикацію безпосередньо у відсотках кисню або °С.

У дипломному проекті бакалавра було поставлено завдання розробити аналізатор кисню у котлових агрегатах. Його конструювання ми розпочали з розробки структурної схеми та аналізу вузлів, які необхідно застосовувати. Конструкція такого аналізатору має вид металевої бляшанки, що повинна мати жаростійкий корпус, адже не потрібно забувати, що його розташовують в середині котлу і там температура може сягати до 600 °С.

Умовно кажучи весь первинний вимірювальний перетворювач можемо поділити на дві частини. У першій частині корпусу показник концентрації є сталим, а у другій - залежить від концентрації кисню у димовій суміші котлового агрегату та змінюється при горінні палива в ньому. На поверхні аналізатору закріплено електроди, його розташовують у корпус втулки, яка розділяє дві частини корпусу одна від одної. При виникненні різниці тисків в цих частинах, виникає ерс.

ВИСНОВКИ

Актуальність обраної теми є надзвичайно високою, адже контроль процесів горіння в різних печах, котлах і технологічних апаратах необхідно контролювати, а ну вітчизняному побуті та виробництві їх кількість має тенденцію до збільшення. В процесі горіння необхідно підтримувати точне співвідношення між кількостями повітря і палива, що поступають відповідно до стехіометричного рівняння реакції горіння. При старінні устаткування змішування виконується недостатньо точно, з часом змінюються теплотворна здатність палива, швидкість процесу горіння і зовнішні умови. Будь-який з цих чинників впливає на кількість повітря, необхідну для безпечного і ефективного згорання палива, а у висновку впливає на економічне використання палива.

В дипломному проєкті на тему проведено розробку та конструювання аналізатора кисню з широким набором функцій. Хочемо зазначити, що спроектований прилад відзначається рядом переваг: невелика вартість в порівнянні з аналогами, знижена похибка вимірювання за рахунок використання нової термопари для стабілізації температурних коливань, високими ергономічними показниками, можливістю впровадження приладу в технологічний процес.

У проєкті проведено розрахунок похибок газоаналізатора від впливу температури і впливу супутніх газів SO_2 , CO ; розрахунок потужності споживання аналізатора. Розроблено конструкцію первинного вимірювального перетворювача газоаналізатора.

Спроектований у дипломі аналізатор кисню при застосуванні систем автоматичного керування для контролю подачі кисню при горінні палива та обрахування й застосування оптимального показника для повного згорання палива, що в свою чергу користувачу дасть економічний ефект щодо кількості палива. Для налаштування роботи у режимі оптимізації конструкції аналізатору використовуємо аналогові сигнали (0 – 5) мА або (4 – 20) мА, та інтерфейс RS 232. Корекція по кисню дала ефект економії витрат палива до 7 %, а також зменшила токсичні викиди в навколишнє середовище та підвищила

ефективність горіння палива.

В нашому проєкті вимірювання кисню виявилось недостатнім кроком для оптимізації співвідношення паливо/повітря. Для збільшення ефективності горіння палива у котлових агрегатах необхідно вимірювати концентрацію вмісту монооксиду вуглецю, що виникає у наслідок горіння. Тому, тільки одночасно вимірюючи вміст кисню та монооксиду вуглецю, можливо досягти найвищої ефективності процесу горіння при робочих умовах. Такі фізико-хімічні властивості цих двох сполук ми врахували при розробці аналізатору кисню в газових котлоагрегатах.

Хочемо зазначити, що вимірювання вмісту монооксиду вуглецю в димових газах частіше за всього проводиться з застосуванням закордонних оптичних аналізаторів. Звідси виникає актуальність розробки українського недорогого і простого в застосуванні стаціонарного аналізатору на вимірювання концентрації чадного газу є актуальною задачею вітчизняного аналітичного приладобудування, що потребує вирішення. Аналітичне дослідження методів вимірювання оксиду вуглецю (електрохімічний, напівпровідниковий та інші) показує, що на основі цих методів з різних причин неможливо розробити стаціонарний аналізатор на СО в димових газах з відповідними технічними вимогами. Для вирішення цієї задачі, на мою думку, найбільш придатний метод низькотемпературного термокаталізу.

При проектуванні аналізатору кисню в котлових агрегатах запропоновано оригінальне технічне рішення для стабілізації робочої температури.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Спалювання газів в топках котлів і печей: // за ред. Чепель В.Н., Шур І. А., «Недра», 1980.– 591с
2. Сучасні прилади і методи контролю складу і властивостей речовин: Видавництво «Знання» Київ 1972.
3. Електрохімія твердих електролітів. Чеботин В.Н., Перфільєв М.В. –М.: Химия, 1978. – 311с
4. Аналізатор газів і рідин. // за ред. Ваня Я.О. – М: Енергія, 1970. – 552с.
5. Точність вимірювальних приладів: // за ред. Брацлавський Д.А., Петров В.В – М. Машинобудування , 1976 – 306с.
6. Моделювання і оптимізація на ЕОМ вимірювальних перетворювачів: //за ред. Таланчук П.М., Фомин М.Н., Сергєєв В.В. – К., Вища школа, 1991. – 250с.
7. Обробка сигналів: // за ред. Бабак В.П., Халдецький В.С., Шрюфер Е. – К., Либідь, 1996. – 392с.
8. Похибки приладів і вимірів. // за ред. Сурикова Є.І., Л: «Машинобудування», 1975. – 155с
9. Методи і прилади для визначення кисню (газовий аналіз): // за ред. Аманазаров А.О., Шарнопольский А.І. – М: Хімія, 1988. – 143с.
10. Реферативний журнал «Приладобудування» №1-12, 2002, 2003, 2004, 2005.
11. Реферативний журнал «Метрологія і вимірювання» №1-12, 2003, 2004, 2005
12. Дипломне проектування. Навчально-методичний посібник: // за ред. Абакумов В.Г., Порєв В.А., Медяний Л.П. – Київ НТУУ «КПІ», 2009. – 75 с.
13. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»
14. http://www.kb-agava.ru/products_madg_1.shtml
15. http://granat-e.ru/adg_32.html

16. <http://granat-e.ru/kakg-1.html>
17. <http://www.gaspro.ru/catalogue.phtml?id=50&typeid=3>
18. <http://www.analog.com/>
19. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Полярография>
20. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Потенциометрия>

ДОДАТКИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет
Кафедра «Інформаційно-вимірювальних технологій»

Дипломний проект
освітньо-кваліфікаційного рівня "БАКАЛАВР"
з напрямку підготовки 6.051003 - Приладобудування

на тему «**Аналізатор кисню у димових газах котлоагрегатів**»

Крупки Дениса Максимовича

Виконав студент IV курсу, групи ПН-361

Науковий керівник доцент, к.т.н. Маркіна О.М.

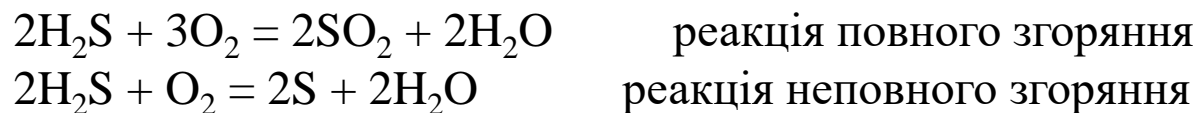
Київ 2020

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Кінцевими продуктами горіння простих речовин є їх окси́ди, а повного згоряння звичайного палива — CO_2 , H_2O , SO_2 і N_2 .

Для повного згоряння завжди потрібний певний надлишок кисню.

При неповному спалюванні (при нестачі кисню) можуть утворюватися CO , O_2 , NO_x , тощо.

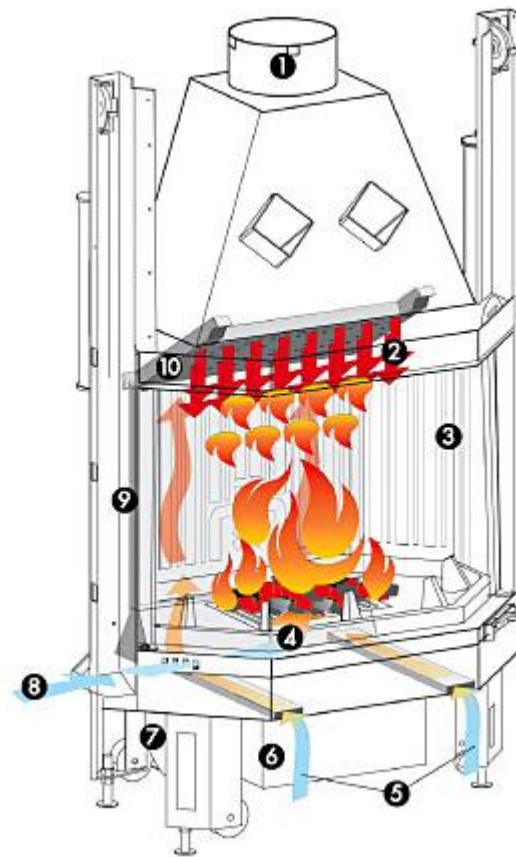


Негативний вплив речовин, що утворюються при згоранні палива

CO_2 при концентрації 10 % виникає втрата свідомості,
при концентрації 20 - 25 % настає смерть;

SO_2 при концентрації 0,33 мг/дм³ і більше виникає задишка та хвороба легень;

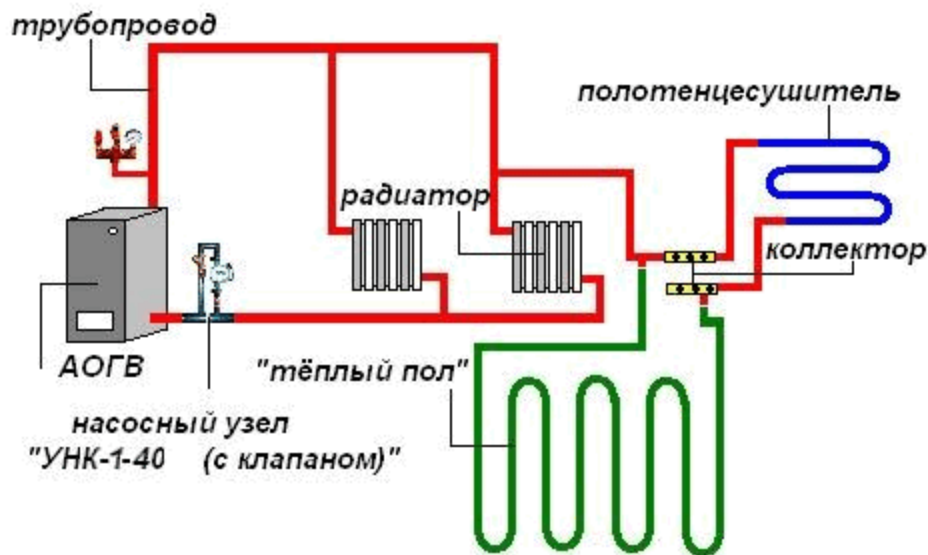
NO_x при концентрації 0,8 - 5 мг/м³ інтоксикація.



ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ДЛЯ КОНТРОЮ КІЛЬКОСТІ КИСНЮ

- при старінні устаткування змішування виконується недостатньо точно;
- з часом змінюються теплотворна здатність палива, швидкість процесу горіння і зовнішні умови.

Будь-який з цих чинників впливає на кількість повітря, необхідну для безпечного і ефективного згорання палива, а у висновку впливає на економічне використання палива.



АНАЛІЗАТОРИ - ПРОТОТИПИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КИСНЮ ПІД ЧАС ГОРІННЯ ПАЛИВА

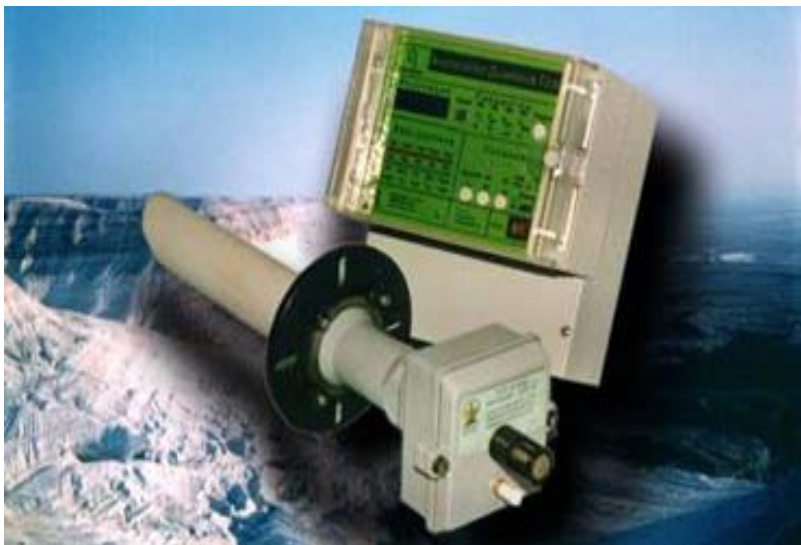


Рисунок 1 – Аналізатор кисню в димових газах
О2-АГД-1



Рисунок 2 – Коректор-аналізатор КАКГ-1



Рисунок 3 – Стационарний вимірювальний
перетворювач кисню OxyTrak 411



Рисунок 4 – Аналізатор кисню в димових газах
О2-МАДГ-2

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ АНАЛІТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВМІСТУ КИСНЮ В ГАЗОВИХ СУМІШАХ

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

Позитивні властивості методу: широкий діапазон вимірювання, мала інерційність, можливість розрахунку статичної характеристики, простота конструкції.

До основних недоліків відносяться: трудність забезпечити добру адгезію електродів до електроліту, нестабільність показань протягом часу використання приладу, необхідність створення високої робочої температури (від 500 до 1200 °C)

КОНДУКТОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД

Недоліками цього методу є низька точність вимірювання, необхідність спеціальних розчинів для поглинання кисню, мала вибірковість аналізу, велика залежність від температури.

ТЕРМОКОНДУКТОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД

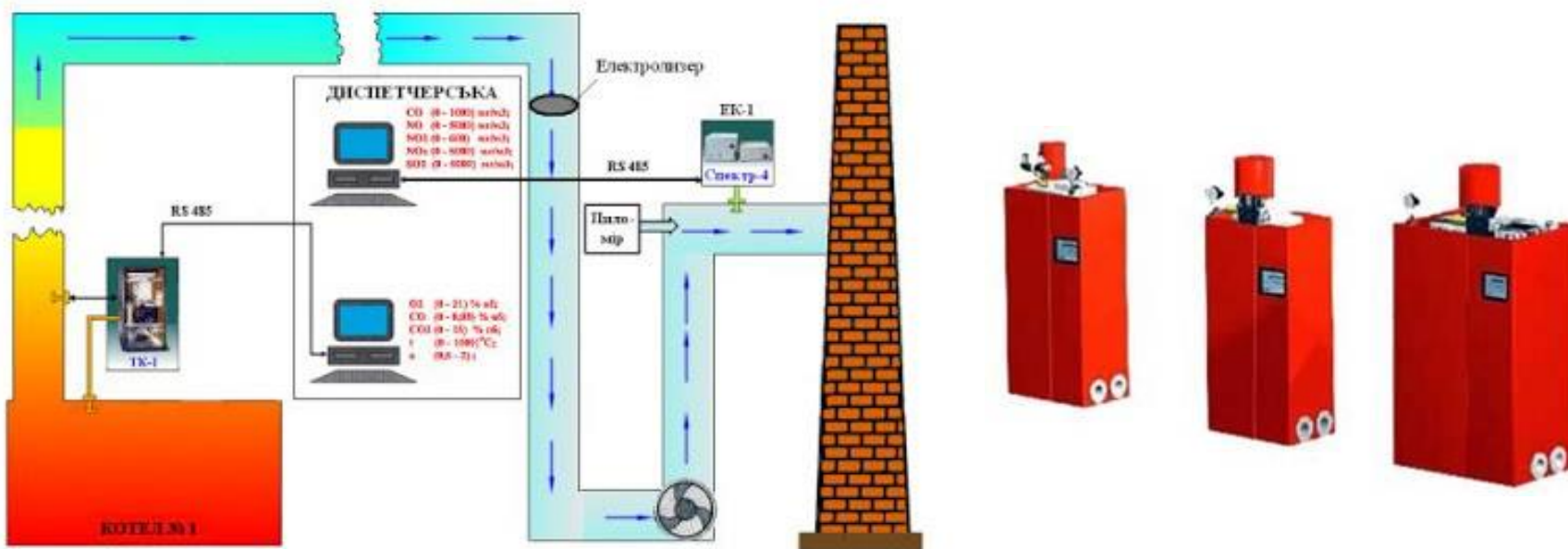
До основних переваг методу можна віднести такі: достатньо висока точність вимірювання, висока надійність, простота конструкції.

Недоліками методу є відсутність вибірковості, непридатність для вимірювання кисню в суміші з азотом, залежність показань приладу від температури, атмосферного тиску і вологості аналізованої проби та деякі інші.

ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО МЕТОДУ

Для проектування нового аналізатору обрано **електрохімічний метод**. Цей метод заснований на залежності ЕРС твердоелектролітного сенсора від відношення парціальних тисків кисню в АГС (димових газах) і порівняльної суміші (атмосферне повітря).

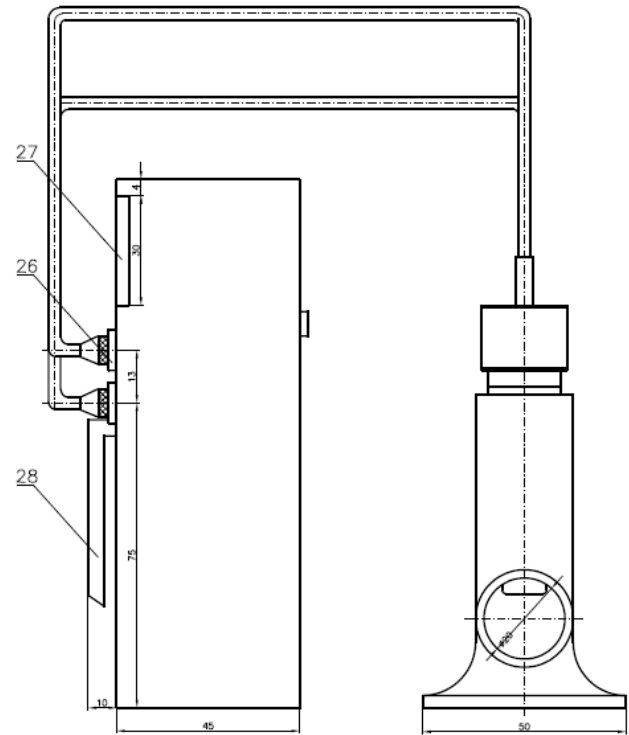
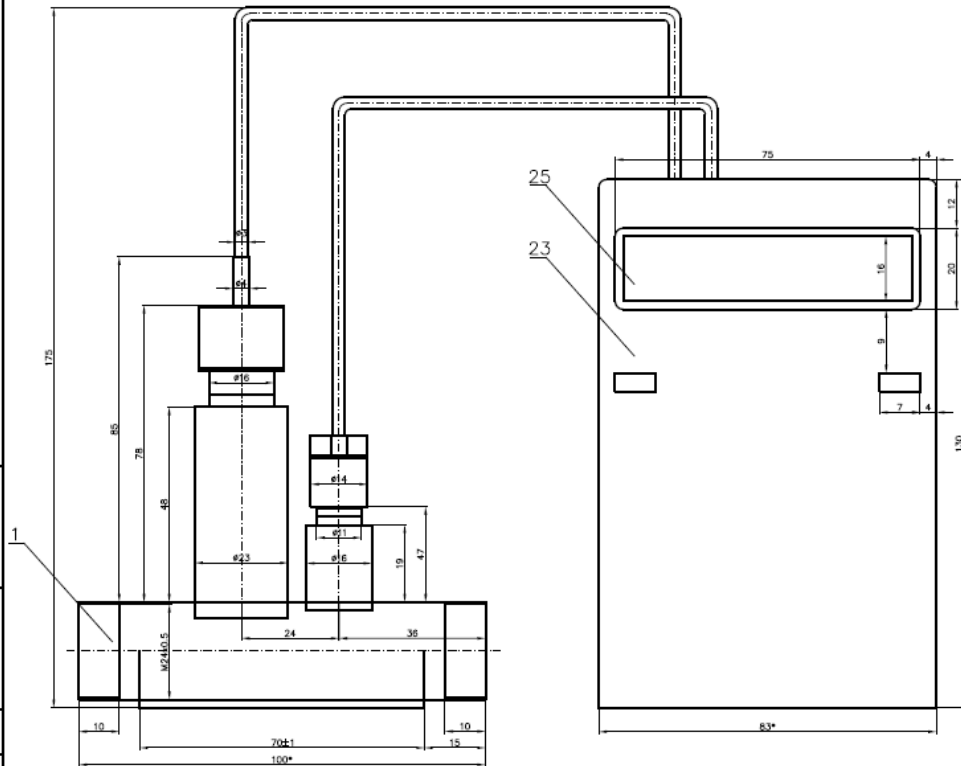
Абсолютна похибка вихідного сигналу аналізатору кисню дорівнює 0,02 В
Відносна похибка вихідного сигналу аналізатору $\delta = 2\%$.



КРЕСЛЕННЯ АНАЛІЗАТОРУ КИСНЮ ЗАГАЛЬНИЙ ВИД

ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK

ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK



ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK

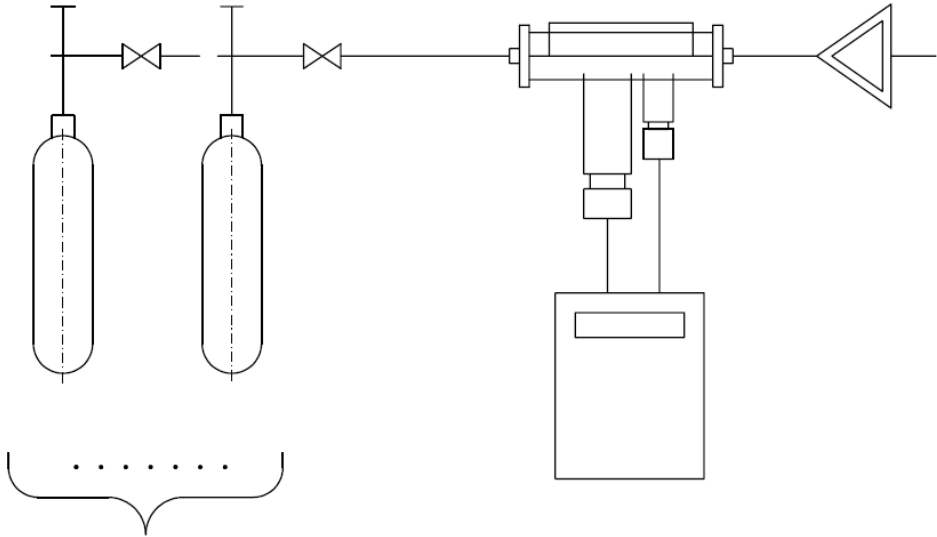
ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK

НАЕПС ДПІ ЗПНБ1.00.003В									
Аналізатор кисню									
Загальний вид									
Масштаб 1:1									
НТУУ КІП									

Лист А1

КРЕСЛЕННЯ ГАЗОВОЇ СХЕМИ АНАЛІЗАТОРУ

ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK



ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK

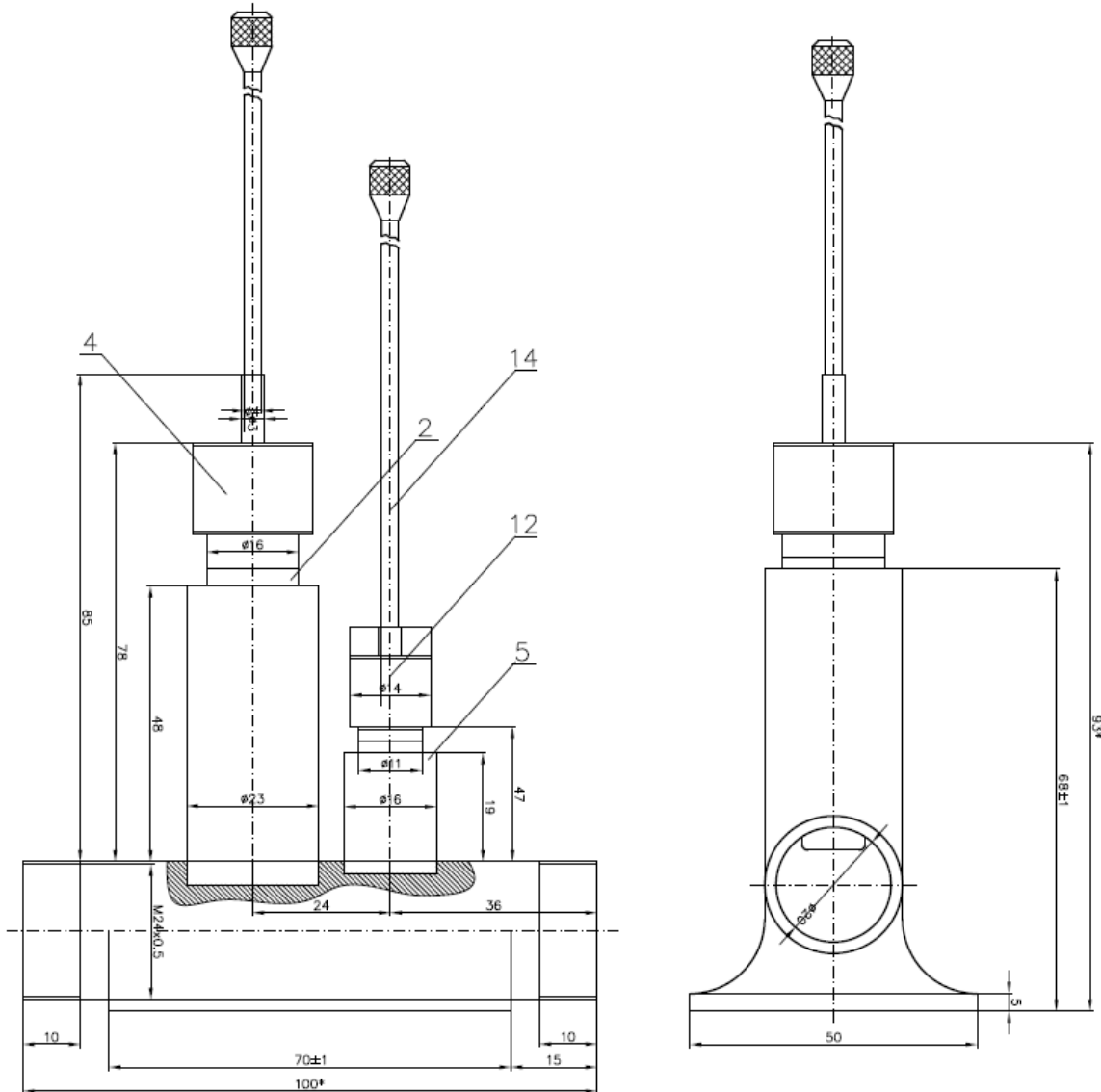
						НАЕПС.ДП.ЗПН91.00.00.X5		
						Аналізатор кисню		
В.П.О.	В.П.О.	В.П.О.	В.П.О.	В.П.О.	В.П.О.	Лист	Масштаб	1:1
Г.П.О.	Г.П.О.	Г.П.О.	Г.П.О.	Г.П.О.	Г.П.О.			
Г.П.О.	Г.П.О.	Г.П.О.	Г.П.О.	Г.П.О.	Г.П.О.	Лист	Лист 1	
						Платформа ГОСТ 24888-81		
						ПБФ		

ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK

КРЕСЛЕННЯ БЛОКУ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ

ЕРСКИ ПРОГРАММЫ AUTODESK



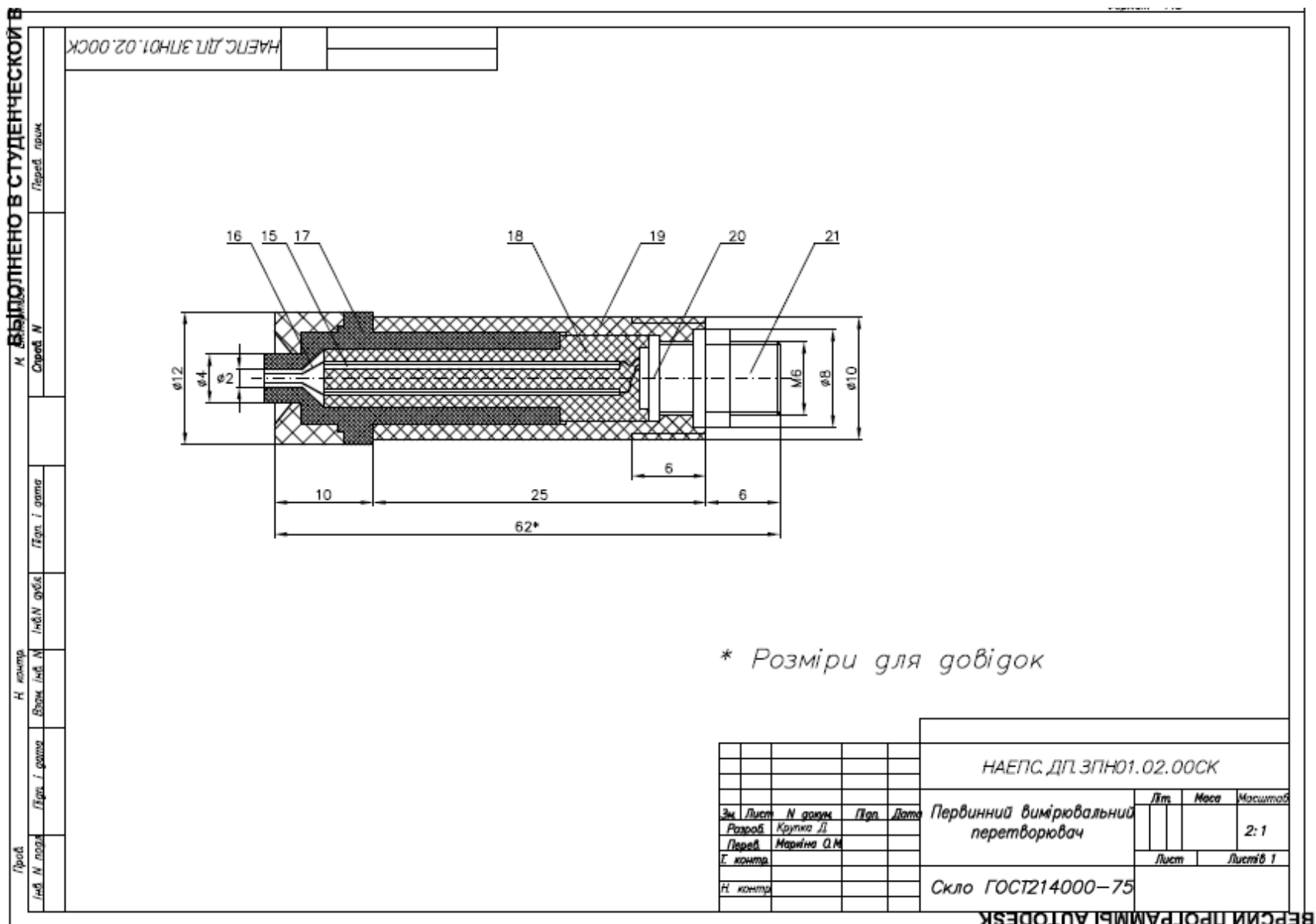
* Розміри для довідок

					НАЕПС.ДП.ЗПН01.03.00СК				
					Блок первинних перетворювачів				
Зм.	Лист	Н. розр.	Г.п.п.	Лист	Лист	Масштаб	Масштаб		
Розроб.		Кришто Д.					1: 1		
Перев.		Маркіна О.М.							
Т. конст.					Лист	Листів в 1			
Н. конст.					Пластмаса ГОСТ 24888-81				
Затв.					ПБФ				

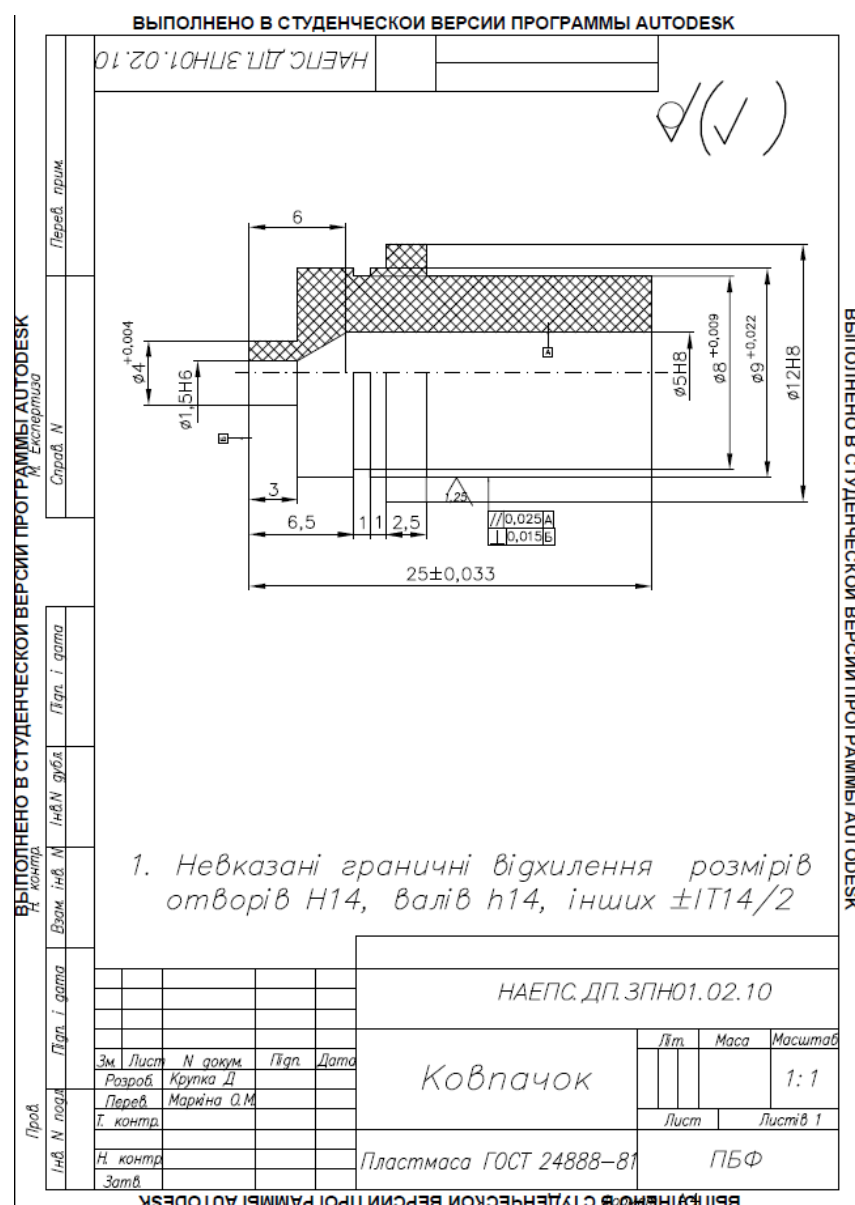
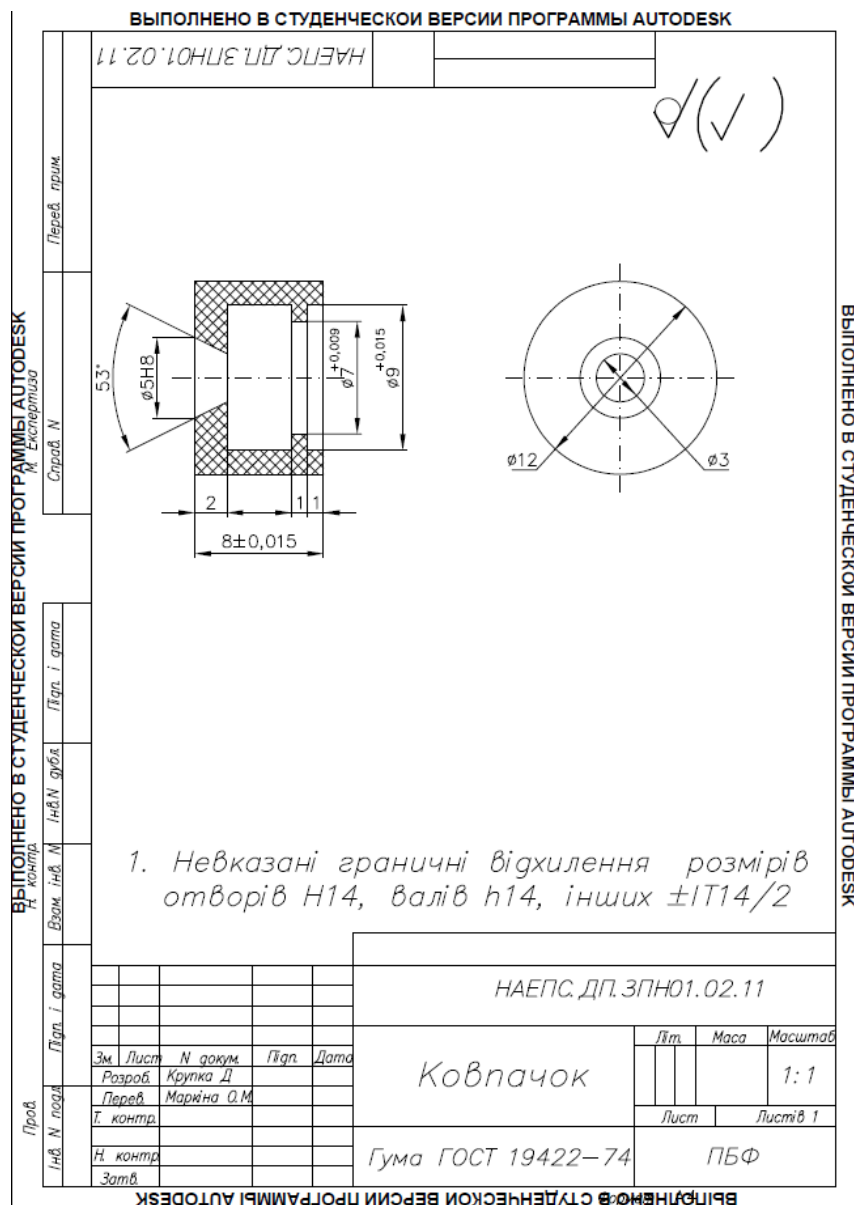
ВЫПОЛНЕНО В СТУДЕНЧЕСКОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ AUTODESK

Формат А2

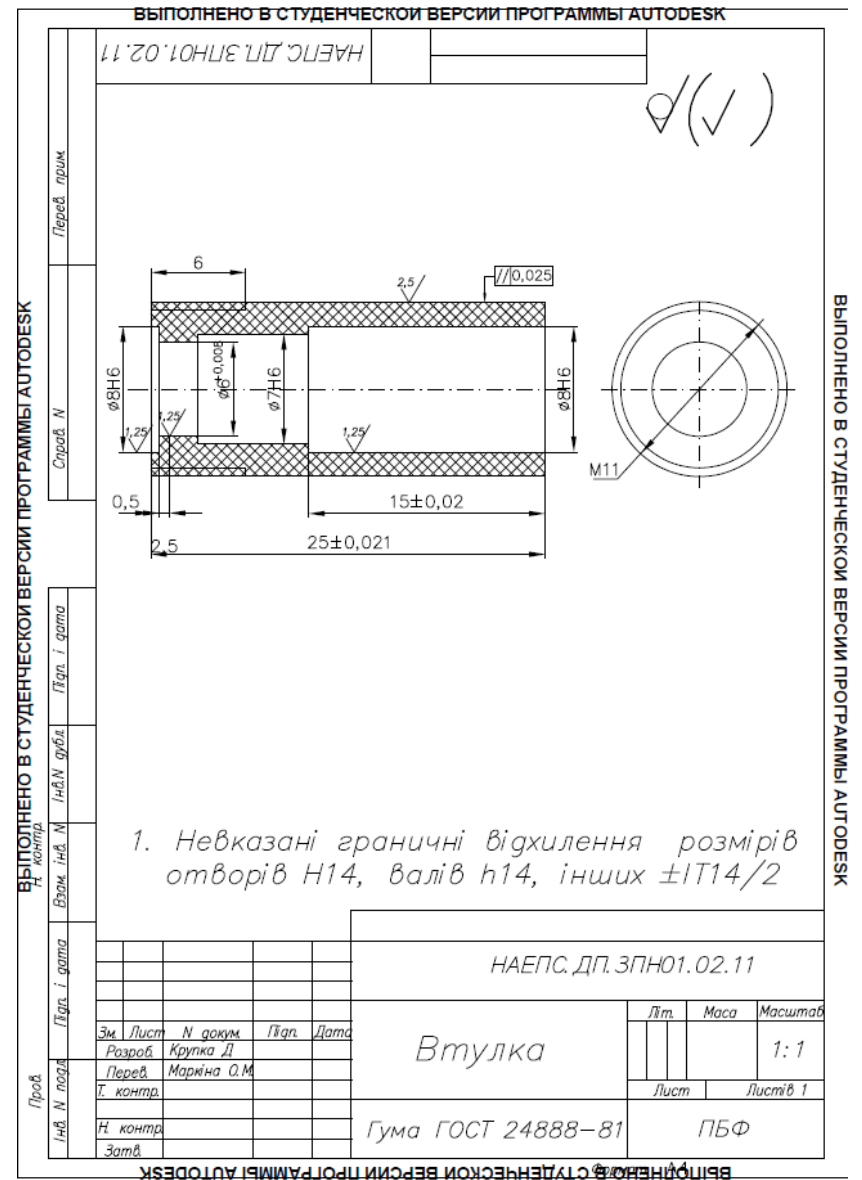
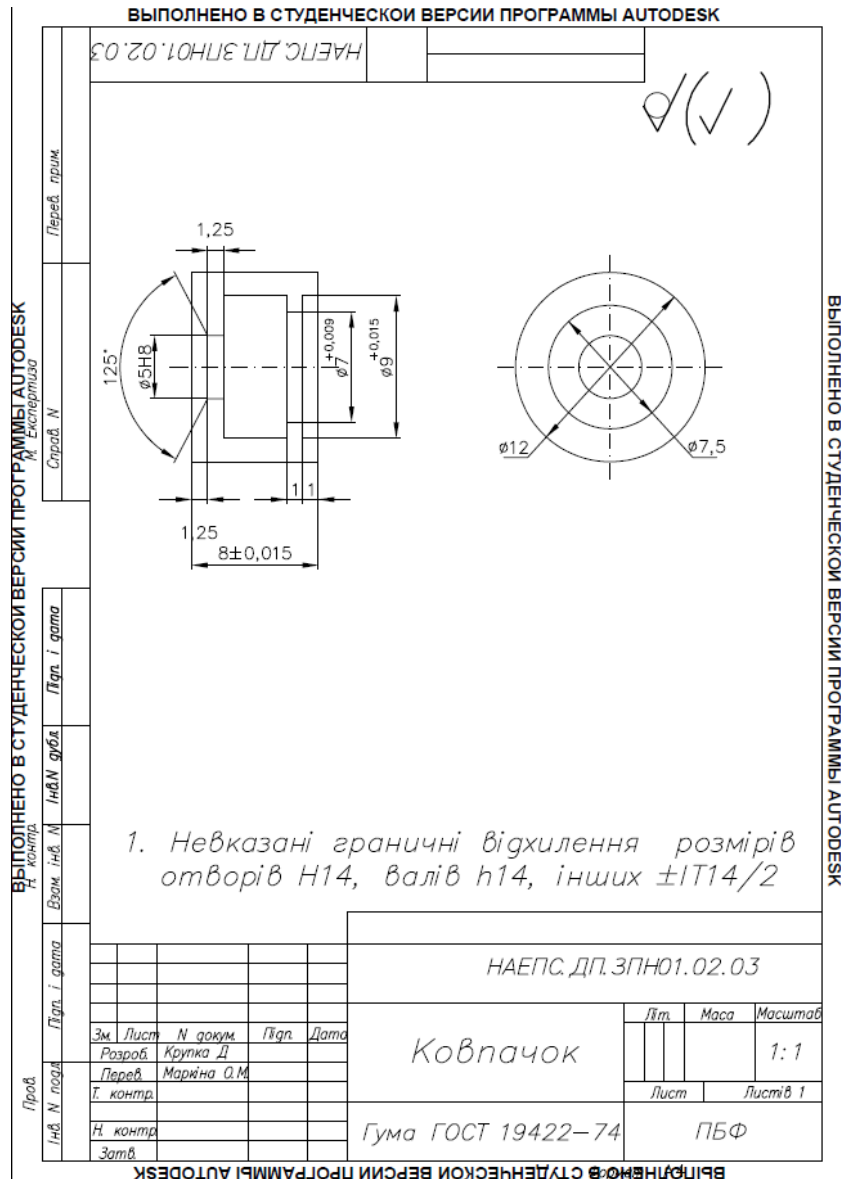
КРЕСЛЕННЯ ПЕРВИННОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА



КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АНАЛІЗАТОРУ



КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АНАЛІЗАТОРУ



КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АНАЛІЗАТОРУ

